



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 198 20 777 A 1**

(51) Int. Cl. 6:
H 01 L 33/00

DE 198 20 777 A 1

(21) Aktenzeichen: 198 20 777.8
(22) Anmeldetag: 8. 5. 98
(43) Offenlegungstag: 12. 11. 98

(30) Unionspriorität:

9-118315	08. 05. 97	JP
9-196025	22. 07. 97	JP
9-236117	01. 09. 97	JP
9-288770	21. 10. 97	JP

(27) Erfinder:

Miki, Hisayuki, Chichibu, Saitama, JP; Udagawa,
Takashi, Chichibu, Saitama, JP; Muraki, Noritaka,
Chichibu, Saitama, JP; Okuyama, Mineo, Chiba, JP

(71) Anmelder:

Showa Denko K.K., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80538 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Elektrode für lichtemittierende Halbleitervorrichtungen und Verfahren zur Herstellung der Elektrode

(57) Eine Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung umfaßt eine lichtdurchlässige Elektrode, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und eine Drahtbondingelektrode, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode steht und derart gebildet ist, daß sie in teilweisen Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, wobei mindestens ein Bereich, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter aufweist als ein Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht. Diese Vorrichtungselektrode wird dadurch gebildet, daß eine Drahtbondingelektrode auf einem Abschnitt der Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet wird, daß auf der Oberfläche des Halbleiters eine erste Schicht gebildet wird, die aus mindestens einem Bestandteil besteht, der aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und die derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist, daß auf der ersten Schicht eine zweite Schicht gebildet wird, die aus mindestens einem Metall besteht, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht, und daß eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, indem die erste und die zweite Schicht in einer Sauerstoff ...

DE 198 20 777 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, und ein Verfahren zur Herstellung der Elektrode.

In den letzten Jahren haben Verbundhalbleitermaterialien auf GaN-Basis als ein Halbleitermaterial für lichtemittierende Vorrichtungen, die Licht mit kurzer Wellenlänge emittieren, Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Der Verbundhalbleiter auf GaN-Basis wird auf verschiedenen Oxidsubstraten, wie Saphireinkristall oder ein Verbundsubstrat der III-V-Gruppe durch das Metallorganische-Chemische-Vapor-Depositions-Verfahren (MOCVD-Verfahren), ein Molekularstrahlepitaxieverfahren (MBE-Verfahren) oder ein anderes derartiges Verfahren gebildet.

Ein Verbundhalbleiter auf GaN-Basis ist ein Verbundhalbleiter der III-V-Gruppe, die im allgemeinen durch $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ dargestellt werden, ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$).

Im Fall einer lichtemittierenden Vorrichtung, die durch Beschriften oder Laminieren von Schichten dieses Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, der ein Substrat aus einem elektrisch isolierenden Material, wie ein Saphirsubstrat, verwendet, kann auf der Rückfläche des Substrats keine Elektrode vorgesehen werden, im Gegensatz dazu, wenn ein Halbleitersubstrat, wie ein GaAs- oder GaP-Substrat verwendet wird, das elektrisch leitend ist. Dementsprechend werden zwei positive und negative Elektroden auf der gleichen Oberfläche der lichtemittierenden Vorrichtung gebildet. Wenn Elektrizität durch die beiden Elektroden hindurchtritt, um eine Lichtemission zu erzeugen, wird das Licht von der Oberfläche emittiert, auf der die Elektroden vorgesehen sind, weil das Saphir- oder andere derartige Substratmaterial ein Isolator ist. Das Licht wird nämlich nach oben emittiert.

Eine Eigenschaft des Verbundhalbleitermaterials auf GaN-Basis ist, daß die Stromdiffusion in der Querrichtung klein ist. Selbst wenn Elektroden gebildet sind und Licht emittiert wird, indem Elektrizität zwischen diesen geleitet wird, findet aufgrund dieser Eigenschaft der Hauptteil des Stromflusses direkt unter den Elektroden statt, infolgedessen ist die Lichtemission auf den Bereich genau unter den Elektroden begrenzt und diffundiert nicht leicht zum Umfangsbereich der Elektroden. Deshalb wird in dem Fall von herkömmlichen undurchsichtigen Elektroden die Lichtemission durch die Elektrode selbst unterbrochen und kann nicht von der Oberseite der Elektrode entnommen werden. Infolgedessen wird die beabsichtigte Verbesserung der Lichtemissionsintensität nicht erreicht.

Um diesen Nachteil zu überwinden, offenbart die JP-A-6-314 822 eine Technik, die den Vorrichtungsaufbau betrifft, wodurch eine lichtdurchlässige Elektrode, die ein sehr dünnes Metall umfaßt, als eine p-leitende Elektrode verwendet wird und über beinahe der gesamten vorderen Oberfläche der Vorrichtung gebildet ist, um dadurch zu gestalten, daß das emittierte Licht durch die lichtdurchlässige Elektrode hindurchtritt und von der oberen Seite nach außen emittiert wird. Bei dieser Offenbarung werden beispielsweise Au, Ni, Pt, In, Cr oder Ti als das Elektrodenmaterial verwendet, und der Metallfilm, der durch Vapor-Deposition gebildet wird, wird bei einer Temperatur von 500°C oder höher wärmebehandelt, um eine Sublimation des Metalls einzuleiten, so daß die Dicke auf zwischen 0,001 und 1 µm verringert wird, um dadurch Lichtdurchlässigkeit zu verleihen. Der Ausdruck "lichtdurchlässig", wie er hierin in bezug auf die Elektrode verwendet wird, bezieht sich auf eine Elektrode, durch

die eine Lichtemission, die unter der Elektrode erzeugt wird, beobachtet werden kann. Um zu ermöglichen, daß ein Beobachtung durch die Elektrode stattfindet, muß die Elektrode eine Lichttransmission von mindestens 10% aufweisen.

- 5 Jedoch weist ein derartiger dünner Metallfilm eine geringe Festigkeit auf, die es unmöglich macht, Drähte direkt an den Dünnschicht zu bilden oder zu kontaktieren, um elektrischen Strom von einer äußeren Quelle zu injizieren. Aus diesem Grund wenden Elektroden zur Verwendung bei lichtemittierenden Halbleitervorrichtungen im allgemeinen einen Aufbau an, der umfaßt, daß zusätzlich zu der lichtdurchlässigen Elektrode eine Drahtbonding- oder Drahtkontaktelektrode gebildet wird, die einen elektrischen Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode aufweist, und daß diese Drahtbondingelektrode verwendet wird, um den Draht anzuschließen, der benutzt wird, um Strom zur lichtdurchlässigen Elektrode zu transportieren.

Wenn unter Verwendung eines dünnen Metallfilms eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, wie es in Fig. 23 gezeigt ist, umfaßt der Aufbau im allgemeinen, daß die Drahtbondingelektrode 8 auf der lichtdurchlässigen Elektrode 7 gebildet wird. Jedoch ist es bei diesem Aufbau schwierig, eine Anhaftung zwischen der vorderen Oberfläche der lichtdurchlässigen Elektrode 7 und der unteren Oberfläche der Drahtbondingelektrode 8 sicherzustellen, was manchmal bewirkt, daß sich die Drahtbondingelektrode 8 während des Elektrodenherstellungsprozesses abschält.

Um dies zu überwinden, offenbart die JP-A-7-94782 eine Technik zur Verbesserung der Bondingeigenschaften, die in Fig. 24 veranschaulicht ist. Bei dieser Anordnung ist in der lichtdurchlässigen Elektrode 7 ein Fenster gebildet, über dem die Oberfläche des Halbleiters 9 freigelegt ist, die Drahtbondingelektrode ist auf dem Fenster 70 gebildet, um einen direkten Kontakt zwischen der Drahtbondingelektrode 8 und der Oberfläche des Halbleiters 9 zu bewirken.

In den meisten Fällen wird ein Dickfilm mit einer Dicke von ungefähr 1 µm für die Drahtbondingelektrode als eine Möglichkeit verwendet, den Einfluß des Drahtbonders (der Kontaktierungsvorrichtung) zu absorbieren. Weil er dermaßen dick ist, kann der Drahtbondingelektrode keine Lichtdurchlässigkeit verliehen werden. Dies bedeutet, daß die Lichtemission, die direkt unter der Drahtbondingelektrode auftritt, durch die Drahtbondingelektrode unterbrochen wird, und dadurch nicht nach außen emittiert werden kann. Um eine höhere Emissionshelligkeit zu erreichen, ist somit ein Aufbau erforderlich, durch den Strom nicht in den Halbleiterabschnitt direkt unterhalb der Drahtbondingelektrode injiziert wird, sondern statt dessen zu der lichtdurchlässigen Elektrode fließt.

Die JP-A-8-250 768 offenbart eine Technik, durch die kein Strom zu dem Bereich unter der Drahtbondingelektrode fließt. Dies wird erreicht, indem die Halbleiterschichten unter der Drahtbondingelektrode durch verschiedene Verfahren mit einem Bereich mit hohem Widerstand versehen werden, wie beispielsweise indem eine Siliziumoxidsschicht gebildet wird, indem ein Bereich freigelassen wird, der keiner Behandlung zur p-Leiter-Ausbildung unterzogen wird, indem Wärmebehandlung oder Ionenimplantation usw. verwendet wird. Der Bereich mit hohem Widerstand verhindert, daß Strom unter der Drahtbondingelektrode fließt, wobei der Strom statt dessen direkt zu der lichtdurchlässigen Elektrode geleitet wird, um dadurch den Strom effizient zu nutzen.

Jedoch erfordert bei der Offenbarung der JP-A-8-250 768 der Aufbau, der den Bereich mit hohem Widerstand unter der Drahtbondingelektrode vorsieht, die Bildung von Siliziumoxidsschichten und Schritte, um den Widerstand des Halbleiters zu vergrößern. Dadurch ist der Prozeß kompli-

ziert und die Herstellung benötigt eine lange Zeitspanne. Um beispielsweise die Siliziumoxidschichten zu bilden, ist es notwendig, Photolithographie, um eine Musterung zu bewirken, oder Plasma-CVD-Prozesse und dergleichen zu verwenden. Ähnlich müssen Photolithographie, Ionenimplantation, Wärmebehandlung und andere derartige Prozesse verwendet werden, um einen Halbleiterbereich mit hohem Widerstand zu bilden. All diese Prozesse sind komplex und zeitraubend.

Wenn die oben beschriebene Anordnung mit einem Bereich mit hohem Widerstand auf die Ausgestaltung der obigen JP-A-7-94782 angewandt werden soll, bei der die Drahtbondingelektrode 8 auf dem Fenster 70 vorgesehen ist (Fig. 24), wird auch der Bereich mit hohem Widerstand in dem Halbleiter 9 unterhalb der Drahtbondingelektrode 8 gebildet. Dies erzeugt eine Anordnung, bei welcher der Strom von dem Umsangsabschnitt 8a der Drahtbondingelektrode 8 über die lichtdurchlässige Elektrode 7 in den Halbleiter 9 fließen muß, wobei eine Lichtemission in dem Injektionsbereich 91 erzeugt wird. Weil der Umsangsabschnitt 8a als eine Barriere für das erzeugte Licht wirkt, kann die Lichtemission nicht nach oben entnommen werden. Die Lichtemission wird deshalb verhindert, wodurch der Emissionswirkungsgrad verringert wird.

Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine Elektrode für lichtemittierende Halbleitervorrichtungen bereitzustellen, die einen einfachen Aufbau verwendet, der in der Lage ist, einen Stromfluß unter der Drahtbondingelektrode sicher zu blockieren und die den Lichtemissionswirkungsgrad verbessern kann.

Die vorliegende Erfindung erreicht das obige Ziel, indem eine Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung vorgesehen wird, die auf der Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, umfassend: eine lichtdurchlässige Elektrode, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und eine Drahtbondingelektrode, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode steht und derart gebildet ist, daß sie in teilweisen Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, wobei mindestens ein Bereich, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter aufweist als ein Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht.

Die Drahtbondingelektrode kann einen mehrschichtigen Aufbau aufweisen, bei dem die oberste Schicht aus Al oder Au gebildet ist.

Die lichtdurchlässige Elektrode kann eine erste Schicht umfassen, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und die mindestens einen Bestandteil umfaßt, der aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und sie kann eine zweite Schicht umfassen, die auf der ersten Schicht gebildet ist und ein lichtdurchlässiges Metalloxid umfaßt, das ein Oxid von mindestens einem Metall enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht.

Die zweite Schicht weist einen Sauerstoffanteil auf, der allmählich von der zweiten Schicht in Richtung der ersten Schicht in dem Bereich in der Nähe der Grenzfläche zwischen der zweiten Schicht und der ersten Schicht abnimmt.

Die erste Schicht kann ein Metallelement enthalten, das ein Hauptbestandteil des Metalloxids ist, das die zweite Schicht bildet.

Die lichtdurchlässige Elektrode kann derart gebildet sein, daß sie an einem Abschnitt über der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist.

Die lichtdurchlässige Elektrode kann derart gebildet sein, daß sie über dem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt.

Die lichtdurchlässige Elektrode kann derart gebildet sein, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt.

Ein Abschnitt der zweiten Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode, der über der Drahtbondingelektrode liegt, kann entfernt sein, so daß die erste Schicht freigelegt ist.

10 Die Elektrode für eine erfundungsgemäße lichtemittierende Halbleitervorrichtung umfaßt auch eine Elektrode, die auf der Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, die auch eine lichtdurchlässige Elektrode umfaßt, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und die eine Drahtbondingelektrode umfaßt, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode steht und derart gebildet ist, daß eine untere Oberfläche in teilweisem Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters steht und die lichtdurchlässige Elektrode über einer oberen Oberfläche liegt.

Die lichtdurchlässige Elektrode kann derart gebildet sein, daß sie über dem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt.

Die lichtdurchlässige Elektrode kann derart gebildet sein, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt.

Die vorliegende Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Herstellung einer Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung bereit, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet wird, umfassend: einen ersten Schritt, daß eine Drahtbondingelektrode an einem Abschnitt der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, einen zweiten Schritt, daß eine erste Schicht auf der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, wobei die erste Schicht mindestens einen Bestandteil umfaßt, der aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist, einen dritten Schritt, daß auf der ersten Schicht eine zweite Schicht gebildet wird, die mindestens ein Metall umfaßt, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht, und einen vierten Schritt, daß eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, indem die erste und die zweite Schicht in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre wärmebehandelt werden.

Das Verfahren zur Herstellung einer Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann statt dessen umfassen: einen ersten Schritt, daß eine Drahtbondingelektrode an einem Abschnitt der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, einen zweiten Schritt, daß eine Legierungsschicht auf der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, wobei die Legierungsschicht eine Legierung umfaßt, die mindestens ein Metall enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und die mindestens ein Metall enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht, und die derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist, und einen dritten Schritt, daß eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, indem die Legierungsschicht in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre wärmebehandelt wird, um auf der Halbleiterseite eine erste Schicht zu bilden, die aus Metall oder einer Legierung besteht, und eine zweite Schicht zu bilden, die aus einem lichtdurchlässigen Metalloxid besteht, das auf der ersten Schicht gebildet ist.

Wie es im vorangehenden beschrieben wurde, ist der Bereich der Drahtbondingelektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, derart gebildet, daß er einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter aufweist als der Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, was es möglich macht, sicher zu verhindern, daß Strom unter der Drahtbondingelektrode fließt, so daß der gesamte Strom von um die Drahtbondingelektrode herum in die lichtdurchlässige Elektrode injiziert wird, aus der er in den Schichtkörper eintritt und zur Lichtemissionsfunktion beiträgt. Das heißt, es wird keine Lichtemission unter der Drahtbondingelektrode erzeugt, so daß, indem das Licht nicht durch die Drahtbondingelektrode hindert wird, im wesentlichen das gesamte erzeugte Licht von der lichtdurchlässigen Elektrode nach oben emittiert werden kann. Dadurch kann der Strom effektiv ausgenutzt und der Lichtemissionswirkungsgrad verbessert werden.

Diese Elektrodenausgestaltung, die eine Drahtbondingelektrode und eine lichtdurchlässige Elektrode aufweist, kann gebildet werden, indem Dünnfilme unter Verwendung eines Verfahrens, wie eines Vapor-Deposition-Verfahrens, aufgewachsen werden. Der Prozeß ist sehr einfach, indem er nur die Vapor-Deposition des Metallmaterials umfaßt, so daß die Bildung der Filme schnell bewirkt werden kann. Das heißt, ein Stromfluß unter der Drahtbondingelektrode kann sicher mittels eines einfachen Aufbaus blockiert werden, der leicht gebildet werden kann ohne komplexe Prozesse vornehmen zu müssen.

Die Erfindung wird im folgenden beispielhaft anhand der Zeichnung beschrieben, in dieser zeigt:

Fig. 1 eine Gesamtansicht des Aufbaus der Elektrode der Erfindung,

Fig. 2 einen Graph, der die Kontaktwiderstandseigenschaften (Spannung-Strom-Eigenschaften) jedes Metalls oder jeder Legierung in bezug auf einen p-leitenden GaN-Halbleiter zeigt,

Fig. 3 den zweischichtigen Aufbau der Drahtbondingelektrode der vorliegenden Erfindung,

Fig. 4 die Gesamtheit der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode von **Fig. 3**, über der die lichtdurchlässige Elektrode liegt,

Fig. 5 den Umfangabschnitt der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode von **Fig. 3**, über dem die lichtdurchlässige Elektrode liegt,

Fig. 6 den zweischichtigen Aufbau der lichtdurchlässigen Elektrode der vorliegenden Erfindung,

Fig. 7 ein zweites Verfahren zur Herstellung der zweischichtigen lichtdurchlässigen Elektrode von **Fig. 6**, wobei **Fig. 7(a)** das erste Stadium zeigt und **Fig. 7(b)** das zweite Stadium zeigt,

Fig. 8 die Gesamtheit der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode von **Fig. 3**, über der eine zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode liegt,

Fig. 9 eine Anordnung, bei der über die Gesamtheit der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode von **Fig. 3** eine zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode gelegt und die zweite Schicht entfernt worden ist,

Fig. 10 den Umfangabschnitt der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode von **Fig. 3**, über dem die zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode liegt,

Fig. 11 eine Draufsicht, welche die Anordnung der Elektrode für eine lichtemittierende Vorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt,

Fig. 12 eine Querschnittsansicht entlang der Linie 12-12 von **Fig. 11**,

Fig. 13 eine Ansicht, die das Tiefenprofil der jeweiligen Elemente der lichtdurchlässigen Elektrode der ersten Aus-

führungsform zeigt, das durch Auger-Elektronen-Spektroskopie gemessen wurde,

Fig. 14 ein Dünnfilm-XRD-Spektrum der zweiten Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode der ersten Ausführungsform,

Fig. 15 eine Querschnittsansicht, die den Aufbau der Elektrode für eine lichtemittierende Vorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt, wobei **Fig. 15(a)** das erste Stadium zeigt, **Fig. 15(b)** das zweite Stadium zeigt und **Fig. 15(c)** den Endzustand zeigt,

Fig. 16 eine Ansicht, die das Tiefenprofil der jeweiligen Elemente der lichtdurchlässigen Elektrode der zweiten Ausführungsform zeigt, das durch Auger-Elektronen-Spektroskopie gemessen wurde,

Fig. 17 eine Draufsicht, welche die Anordnung der Elektrode für eine lichtemittierende Vorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt,

Fig. 18 eine Querschnittsansicht entlang der Linie 18-18 von **Fig. 17**,

Fig. 19 eine Draufsicht, welche die Anordnung der Elektrode für eine lichtemittierende Vorrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt,

Fig. 20 eine Querschnittsansicht entlang der Linie 20-20 von **Fig. 19**,

Fig. 21 eine Draufsicht, welche die Anordnung der Elektrode für eine lichtemittierende Vorrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt,

Fig. 22 eine Querschnittsansicht entlang der Linie 22-22 von **Fig. 21**,

Fig. 23 eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen p-leitenden Elektrode und

Fig. 24 eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen p-leitenden Elektrode, wobei ein Fenster mit einer Drahtbondingelektrode versehen ist.

Nun werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben.

Fig. 1 ist eine Gesamtansicht, die den Aufbau der Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung der Erfindung zeigt. In der Zeichnung umfaßt die Elektrode 1 für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung eine lichtdurchlässige Elektrode 10, die auf der oberen Schichtseite eines Schichtkörpers 3 angeordnet ist, der eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung bildet, wo sie derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche eines p-leitenden Halbleiters auf GaN-Basis 30 steht, und eine Drahtbondingelektrode 20, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode 10 steht und derart gebildet ist, daß sie in teilweisen Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters 30 gelangt. Die Drahtbondingelektrode 20 ist derart gebildet, daß mindestens ein Bereich 20a, der in Kontakt mit dem Halbleiter 30 steht, einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter 30 aufweist als ein Bereich 10a der lichtdurchlässigen Elektrode 10, der in Kontakt mit dem Halbleiter 30 steht.

Bei der in **Fig. 1** gezeigten Elektrode 1 sind zwei positive und negative Elektroden auf der Seite des Halbleiters 30 des Schichtkörpers 3 gebildet. Jedoch ist die negative Elektrode aus **Fig. 1** weggelassen.

Der Bereich 20a der Drahtbondingelektrode 20, der in Kontakt mit dem Halbleiter 30 steht, ist aus einem Metall oder einer Legierung aus zwei oder mehr Metallen gebildet, die aus der Gruppe ausgewählt sind, die aus Ti, In, Mn, Ti, Al, Ag, Sn, AuBe, AuZn, AuMg, AlSi, TiSi und TiBe besteht. Eine anschließende Wärmebehandlung kann die feste Anhaftung zwischen der Elektrode 1 und dem Halbleiter 30 steigern.

Von diesen Metallen und Legierungen ermöglicht die

Auswahl von Ti, TiSi, TiBe, Al, AlSi oder AuBe oder dergleichen, daß eine stärkere Anhaftung an der Oberfläche des Halbleiters 30 bewahrt werden kann.

Im Gegensatz dazu ist der Bereich 10a der lichtdurchlässigen Elektrode 10 aus einem Metall gebildet, das aus einer Gruppe von Metallen ausgewählt ist, die jeweils einen niedrigeren Kontaktwiderstand relativ zu dem Halbleiter 30 aufweisen, wie Au, Pd, Pt, Ni und Cr. Dem Metall kann eine Lichtdurchlässigkeit verliehen werden, indem das Metall als ein Dünnpfilm ausgebildet wird, der eine Dicke von 1 nm bis 1000 nm aufweist.

Fig. 2 zeigt die Kontaktwiderstandseigenschaften (Spannung-Strom-Eigenschaften) jedes Metalls oder jeder Legierung in bezug auf einen p-leitenden GaN-Halbleiter. Wie es in Fig. 2 gezeigt ist, weisen Ni und Au einen niedrigen Kontaktwiderstand in bezug auf einen p-leitenden GaN-Halbleiter auf, während die Legierung AuBe einen äußerst hohen Kontaktwiderstand aufweist, was ihre Eignung als ein Material für den Drahtbondingelektrodenbereich 20a zeigt, der in Kontakt mit dem Halbleiter 30 steht.

Weil der Bereich 20a, der in Kontakt mit dem Halbleiter 30 steht, derart gebildet ist, daß er einen höheren Kontaktwiderstand in bezug auf den Halbleiter 30 als der lichtdurchlässige Elektrodenbereich 10a aufweist, der in Kontakt mit dem Halbleiter 30 steht, wie es oben beschrieben ist, ist es möglich, sicher zu verhindern, daß Strom unter der Drahtbondingelektrode 20 fließt, wodurch sichergestellt ist, daß der gesamte Strom von um die Drahtbondingelektrode 20 herum in die lichtdurchlässige Elektrode 10 injiziert wird, von wo er in den Schichtkörper 3 eintritt und zum Lichtemissionseffekt beiträgt. Das heißt, unter der Drahtbondingelektrode 20 wird keine Lichtemission erzeugt, so daß, indem das Licht nicht durch die Drahtbondingelektrode 20 behindert wird, im wesentlichen das gesamte erzeugte Licht von der lichtdurchlässigen Elektrode 10 nach außen emittiert werden kann (nach oben in bezug auf Fig. 1). Dies ermöglicht, daß der Strom effektiv ausgenutzt wird und der Lichtemissionswirkungsgrad verbessert ist.

Der Elektrodenaufbau, der aus der Drahtbondingelektrode 20 und der lichtdurchlässigen Elektrode 10 besteht, kann gebildet werden, indem Dünnpfilme unter Verwendung eines Vakuumablagerungsverfahrens oder dergl. aufgewachsen werden. Der Prozeß ist sehr einfach, indem er nur die Auswahl und Vapor-Deposition der Metallmaterialien umfaßt, so daß die Filme in einem kurzen Zeitraum aufgewachsen werden können. Das heißt, daß der Stromfluß unter der Drahtbondingelektrode 20 mittels eines einfachen Aufbaus sicher blockiert werden kann, der leicht gebildet werden kann, ohne komplexe Prozesse vornehmen zu müssen.

In den meisten Fällen wird Golddraht verwendet, um die Spannungsversorgung mit der Drahtbondingelektrode 20 zu verbinden. Genauer werden kleine Goldbondingkugeln verwendet, um die Verbindung zwischen dem Golddraht und der Drahtbondingelektrode 20 unter Verwendung von Ultraschallwellen zu bewirken und somit die Bondingkugeln mit dem Elektrodenmaterial zu erwärmen und zu verschmelzen. Die Elektrodenmaterialien, die mit den Bondingkugeln verschmilzen, sind begrenzt, wobei Au und Al bekannte Materialien sind. Wenn ein Metall oder eine Legierung verwendet wird, die geeignet ist, einen Kontakt mit dem Halbleiter 30 zu bilden, jedoch nicht gut mit den Bondingkugeln verschmilzt, kann ein mehrschichtiger Aufbau für die Drahtbondingelektrode 20 verwendet werden, um die Drahtbondingelektrode 20 mit einer Oberfläche zu versehen, die aus einem Metall gebildet ist, das gut mit den Bondingkugeln verschmilzt.

Fig. 3 zeigt eine Drahtbondingelektrode, die einen zweischichtigen Aufbau aufweist. In der Zeichnung besteht die

Drahtbondingelektrode 21 aus einer unteren Schicht 21a, die aus AuBe gebildet ist, das einen hohen Kontaktwiderstand zu dem Halbleiter 30 aufweist, während die obere Schicht 21b aus Au gebildet ist, das gute Verschmelzungseigenschaften in bezug auf die Bondingkugeln aufweist.

In Fällen, in denen es eine schlechte Anhaftung zwischen dem Metall, das für die obere Schicht 21b verwendet wird, und dem Metall gibt, das für die untere Schicht 21a verwendet wird, kann ein dreischichtiger Aufbau oder ein Aufbau mit mehr als drei Schichten benutzt werden. Die Verwendung eines derartigen mehrschichtigen Aufbaus macht es möglich, eine Drahtbondung zu verwirklichen, die sowohl einen hohen Kontaktwiderstand zu dem Halbleiter 30 als auch eine gute Verschmelzbarkeit mit Bondingkugeln aufweist.

Wenn ein Metall, wie beispielsweise Al, verwendet wird, das einen hohen Kontaktwiderstand relativ zu dem Halbleiter 30 und eine hohe Bondingkugelverschmelzbarkeit aufweist, kann die gesamte Drahtbondingelektrode 20 als eine einzige Schicht aus Al gebildet sein.

Bei den in den Fig. 1 und 3 gezeigten Anordnungen ist die lichtdurchlässige Elektrode 10 gezeigt, wie sie um die äußere Umfangsoberfläche der Drahtbondingelektrode 20 oder 21 herum gebildet ist und mit dieser in Kontakt steht. Jedoch kann die lichtdurchlässige Elektrode 10 statt dessen derart gebildet sein, daß sie über der Drahtbondingelektrode 20 oder 21 liegt.

Fig. 4 zeigt eine Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode über der gesamten oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt. Indem die lichtdurchlässige Elektrode 10 derart gebildet ist, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 bedeckt, wie es in der Zeichnung gezeigt ist, kontaktiert die lichtdurchlässige Elektrode 10, die früher nur die Seitenumfangsoberfläche der Drahtbondingelektrode 20 kontaktierte, nun das gesamte Äußere der Drahtbondingelektrode 20 mit Ausnahme der unteren Oberfläche, wodurch eine Hauptverbesserung bei der Anhaftung zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode 10 und der Drahtbondingelektrode 20 erzeugt wird. Selbst wenn es eine geringe Anhaftung zwischen dem Material, das verwendet wird, um die lichtdurchlässige Elektrode 10 zu bilden, und dem Material gibt, das verwendet wird, um die Drahtbondingelektrode 20 zu bilden, kann infolgedessen ein Abschälen oder Ablösen der lichtdurchlässigen Elektrode 10 von der Drahtbondingelektrode 20 verhindert werden.

Selbst wenn während der Maskenausrichtung eine gewisse Abweichung des Musters auftritt, wird auch der Kontakt zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode 10 und der Drahtbondingelektrode 20 nicht beeinträchtigt, weil die lichtdurchlässige Elektrode die gesamte Drahtbondingelektrode mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt.

Weil die lichtdurchlässige Elektrode 10 außerdem die Drahtbondingelektrode 20 nach unten in Richtung des Halbleiters 30 drückt, ist die Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode 20 und dem Halbleiter 30 vergrößert, was auch verhindert, daß sich die Drahtbondingelektrode 20 von dem Halbleiter 30 löst.

Wenn die lichtdurchlässige Elektrode 10 derart gebildet werden soll, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 bedeckt und falls die lichtdurchlässige Elektrode 10 aus einem Material gebildet ist, das eine gute Bondingkugelverschmelzbarkeit, d. h. gute Bondingeigenschaften, aufweist, wie Au oder Al, können die Drahtbondingelektrode 20 und der Abschnitt der lichtdurchlässigen Elektrode 10 auf der Oberseite der Drahtbondingelektrode 20 als eine integrierte Drahtbondingelektrode 20 betrachtet werden, und ihre obere Oberfläche kann für das

Bonden verwendet werden, wie es oben beschrieben ist.

Wenn andererseits die lichtdurchlässige Elektrode 10 aus einem Material gebildet ist, das schlechte Bondingeigenschaften aufweist, kann eine Anordnung, wie diejenige, die in Fig. 5 gezeigt ist, verwendet werden, bei der ein Abschnitt der lichtdurchlässigen Elektrode 10, der dem mittleren Abschnitt der Drahtbondingelektrode 20 entspricht, entfernt ist, wobei nur der Teil der lichtdurchlässigen Elektrode 10 um den Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 herum zurückbleibt, wodurch die Drahtbondingelektrode 20 freigelegt ist, wo der mittlere Abschnitt der Drahtbondingelektrode 20 entfernt worden ist. Ein Bonden an die Drahtbondingelektrode 20 wird an dem freigelegten Abschnitt bewirkt, oder der freigelegte Abschnitt kann auch mit einem Material mit guten Bondingeigenschaften beschichtet sein, wie Au oder Al, wobei ein beschichteter Abschnitt 20c gebildet wird, der als ein integraler Teil der Drahtbondingelektrode 20 betrachtet werden kann, was es gestattet, daß die obere Oberfläche des beschichteten Abschnitts 20c zum Bonden verwendet werden kann.

Die Verwendung einer derartigen Anordnung macht es möglich, gute Bondingeigenschaften sicherzustellen, selbst wenn die lichtdurchlässige Elektrode 10 aus einem Material mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet ist. Selbst wenn der Abschnitt der lichtdurchlässigen Elektrode 10 entfernt ist, bleibt dennoch die lichtdurchlässige Elektrode 10 in Kontakt um die obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 herum, so daß, wenn die lichtdurchlässige Elektrode 10 über die Drahtbondingelektrode 20 gelegt ist, das Verhindern eines Lösens, die Verringerung der Auswirkung einer Musterfehlaustrichtung und andere derartige Effekte bewahrt werden können.

Nun wird die Verwendung einer zweischichtigen Ausbildung für die lichtdurchlässige Elektrode 10 erläutert.

Fig. 6 zeigt eine lichtdurchlässige Elektrode 10 mit einem zweischichtigen Aufbau. In Fig. 6 besteht eine lichtdurchlässige Elektrode 11 aus einer ersten Schicht 11a aus einem lichtdurchlässigen Metall, die auf der Oberfläche des Halbleiters 30 gebildet ist, und einer zweiten Schicht 11b, die ein lichtdurchlässiges Metalloxid enthält und auf der ersten Schicht 11a gebildet ist.

Die erste Schicht 11a, die den p-leitenden Halbleiter 30 kontaktiert, kann aus einem Metall gebildet sein, daß, wenn es wärmebehandelt wird, einen guten ohmschen Kontakt liefert, wobei das Metall aus einer ersten Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht. Die erste Schicht 11a kann auch aus einer Legierung aus mindestens zweien der Metalle aus der ersten Gruppe gebildet sein.

Um einen guten ohmschen Kontakt zu erreichen, kann eine Legierung verwendet werden, die erhalten wird, indem zu dem oben beschriebenen Metall eine geringe Menge von mindestens einem Metall, wie Zn, Ge, Sn, Be oder Mg, als eine Verunreinigung hinzugefügt wird.

Das Metalloxid, das in der zweiten Schicht 11b enthalten ist, ist ein Oxid, das eine relativ gute Lichtdurchlässigkeit und eine überlegene Anhaftungseigenschaft an der ersten Schicht 11a aufweist, und es kann ein Oxid von mindestens einem Metall verwendet werden, das aus einer zweiten Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht. Von diesen ist es weitläufig bekannt, daß NiO, TiO₂, SnO₂, Cr₂O₃, CoO, ZnO, Cu₂O, MgO, In₂O₃ lichtdurchlässig sind, und es sind hauptsächlich diejenigen nützlich, die ein Oxid umfassen, bei dem das oben beschriebene Metalloxid und ein anderes Metallelement zusammen vorhanden sind. Es ist auch bevorzugt, ein Oxid zu verwenden, das eine gute Anhaftungseigenschaft an das Backing der ersten Schicht 11a aufweist.

Der Ausdruck "Metalloxid", wie er bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, bezieht sich auf eine Mischung aus Oxiden, bei denen sich die Oxidationszahl der Metalle unterscheidet, und umfaßt den Fall, in dem ein nichtoxidierendes Metall enthalten ist. Ein Metall, das nicht oxidiert ist, kann unter diesen eingeschlossen sein. Die zweite Schicht ist durch Lichtdurchlässigkeit gekennzeichnet, und dementsprechend ist es natürlich vorteilhaft, daß von den Oxiden, deren Zusammensetzung sich unterscheidet, daß am stärksten lichtdurchlässige Material als der Hauptbestandteil verwendet wird.

Dies ist unten beschrieben, wobei Ni als ein Beispiel genommen wird. Bekannte Oxide von Ni umfassen NiO, Ni₂O₃, NiO₂ und Ni₃O₄. Jedes von diesen oder deren Mischung kann als die Zusammensetzung des Materials verwendet werden, das die zweite Schicht 11b bildet, oder es kann Ni selbst, das ein nichtoxidiertes Metall ist, enthalten sein. Jedoch ist es bekannt, daß von diesen mehreren Oxidarten NiO die Lichtdurchlässigkeit am wirksamsten zur Geltung bringt, und deshalb ist eine zweite Schicht vorteilhaft, die NiO als einen Hauptbestandteil umfaßt.

Bei herkömmlichen lichtdurchlässigen Elektroden, die aus einer sehr dünnen einzelnen Metallfilmschicht gebildet sind, bewirkt eine Wärmebehandlung, um einen ohmschen Kontakt mit dem Backing (Halbleiter) zu verwirklichen, ein "Kugelbildung" (ball up) genanntes Phänomen, welches das Metall aufgrund der Tatsache zu einer Kugel koaguliert, daß die Oberflächenspannung des Metalls größer als dessen Anhaftung an dem Backing ist. Dieses Kugelbildungsphänomen erzeugt vereinzelt Spalten und Risse in dem dünnen Metallfilm, was zu einem Verlust der elektrischen Verbindung und zu einem Verlust der Funktion als eine lichtdurchlässige Elektrode führt.

Es ist vorstellbar, daß als ein Mittel, um das Kugelbildungsphänomen zu verhindern, die Dicke der Metallelektrode vergrößert wird. Jedoch führt dies die Verringerung der Transmission ein, woraus resultiert, daß die Elektrode ihre Transmissionseigenschaften verlieren wird.

Deshalb ist es eines der Ziele der vorliegenden Erfindung, eine lichtdurchlässige Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung bereitzustellen, die Transmissionseigenschaften und einen Aufbau aufweist, der in der Lage ist, das Kugelbildungsphänomen wirksam zu verhindern, und ein Verfahren zur Herstellung der lichtdurchlässigen Elektrode bereitzustellen.

Daher ist bei der Anordnung dieser Ausführungsform die lichtdurchlässige Elektrode 11 als eine Schichtanordnung gebildet, die aus der zweiten Schicht 11b besteht, die aus einem Metalloxid gebildet ist, das auf die erste Schicht 11a aus Metall beschichtet ist, die auf dem Halbleiter 30 gebildet ist. Dies macht es möglich, das Kugelbildungsphänomen zu verhindern, das auftritt, wenn ein herkömmlicher einschichtiger Aufbau verwendet wird. Dadurch ist es möglich, eine Hauptverbesserung der ohmschen Eigenschaften zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode 11 und dem Halbleiter 30 zu erreichen, und es kann auch eine wesentliche Vergrößerung der Zweiwegbondingfestigkeit erreicht werden.

Weil die zweite Schicht 11b aus Metalloxid gebildet ist, kann außerdem eine gute Durchlässigkeit verliehen werden, um die Gesamtheit der lichtdurchlässigen Elektrode 11 mit einer überlegenen Durchlässigkeit zu versehen.

Die erste Schicht 11a, die ein Metall umfaßt, und die zweite Schicht 11b, die ein lichtdurchlässiges Metalloxid umfaßt, weisen jeweils vorzugsweise gute Anhaftungseigenschaften auf. Dazu weist die Elektrode vorzugsweise einen Aufbau auf, so daß der Sauerstoffanteil allmählich von der zweiten Schicht 11b in Richtung der ersten Schicht 11a in dem Bereich in der Nähe der Grenzfläche zwischen der

zweiten Schicht **11b** und der ersten Schicht **11a** abnimmt, so daß die Zusammensetzung einer kontinuierliche Änderung von der Zusammensetzung, die ein Metalloxid enthält, zu der Zusammensetzung erfährt, die ein Metall umfaßt.

Um eine starke Anhaftung zwischen der ersten Schicht **11a** und der zweiten Schicht **11b** zu erlangen, enthält die erste Schicht **11a** vorzugsweise einen Metallbestandteil des Metalloxids, das in der zweiten Schicht **11b** enthalten ist. Der Bestandteil der zweiten Schicht **11b** kann in der ersten Schicht **11a** in einer konstanten Konzentration in der ganzen ersten Schicht **11a** enthalten sein, oder die Konzentration kann einen Gradienten aufweisen, so daß die Konzentration entlang der Richtung von der Grenzfläche **11c** mit der zweiten Schicht **11b** in Richtung der Oberfläche des Halbleiters **30** geringer wird. Der Bestandteil der zweiten Schicht **11b** kann in der gesamten ersten Schicht **11a** enthalten sein, oder er kann in nur einem Teil der Seite der Grenzfläche **11c** mit der zweiten Schicht **11b** enthalten sein.

Die erste Schicht **11a** ist vorzugsweise derart gebildet, daß sie eine Dicke von 1 nm bis 500 nm aufweist, um eine Lichtdurchlässigkeit zu erhalten. Es ist bevorzugt, die Schichtdicke derart einzustellen, daß eine Lichttransmission erlangt wird, die aus dem Absorptionskoeffizienten als ein Wert einer einem Metall eigenen physikalischen Eigenschaft von 10% bis 90% berechnet wird.

Die zweite Schicht **11b** weist vorzugsweise eine Dicke von 1 nm bis 1000 nm auf, wodurch eine Lichtdurchlässigkeit verwirklicht ist, eine ausgezeichnete Kugelbildungsschutzwirkung erreicht ist und eine gute Lichtdurchlässigkeit erlangt ist. Es ist bevorzugt, sicherzustellen, daß die lichtdurchlässige Elektrode **11**, die aus der ersten Schicht **11a** und der zweiten Schicht **11b** besteht, eine Transmission von mindestens 10%, und insbesondere bevorzugt mindestens 30% aufweist.

Die obige zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode **11** kann durch eines von zwei Verfahren hergestellt werden. Das erste Verfahren umfaßt die Verwendung gewöhnlicher Widerstandsheizablagerung, Elektronenstrahlheizablagerung, Sputtern oder ein anderes derartiges Verfahren, um die untere Schicht aus Metall aus der ersten Gruppe und die obere Schicht aus Metall aus der zweiten Gruppe zu bilden. In diesem Stadium weist der Dünnfilm, der jede der beiden Schichten umfaßt, eine dunkle Farbe mit einem metallischen Glanz auf.

Als nächstes wird eine Wärmebehandlung in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre verwendet, um die obere Schicht zu oxidiieren, die aus einem Metall aus der zweiten Gruppe besteht. Eine Sauerstoff enthaltende Atmosphäre, bedeutet eine Atmosphäre, die Sauerstoffgas (O_2) oder Dampf (H_2O) oder dergl. enthält. Durch diese Wärmebehandlung wird das Metall aus der zweiten Gruppe, aus dem die obere Schicht gebildet ist, oxidiert, wodurch es ein lichtdurchlässiges Metalloxid wird.

Mittels des obigen Verfahrens werden, von der Seite des Halbleiters **30** ausgehend, eine lichtdurchlässige erste Schicht **11a** mit einem guten ohmschen Kontakt mit dem Halbleiter **30** und eine zweite Schicht **11b** gebildet, die aus Metalloxid mit einer hohen Lichtdurchlässigkeit besteht, um dadurch die lichtdurchlässige Elektrode **11** zu bilden, die einen zweischichtigen Aufbau aufweist.

Bei dem ersten Herstellungsverfahren diffundiert die Wärmebehandlung das Metall aus der zweiten Gruppe, das verwendet wird, um das Metalloxid der zweiten Schicht **11b** zu bilden, effektiv in die erste Schicht **11a**, was zu einem zweischichtigen Aufbau mit einer guten Anhaftfähigkeit führt.

Wenn Metalle aus der ersten und der zweiten Gruppe ausgewählt werden, die leicht durch Wärmebehandlung legiert

werden können, kann die Wärmebehandlung in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre gleichzeitig als die Wärmebehandlung dieses, die verwendet wird, um eine Oxidation der zweiten Schicht **11b** zu einem Metalloxid zu bewirken,

und als die Wärmebehandlung, die durchgeführt wird, um den Metallbestandteil aus der zweiten Gruppe, den die zweite Schicht **11b** umfaßt, in die erste Schicht **11a** einzudiffundieren. Da eine kleine Menge des Metalls aus der zweiten Gruppe, das in die erste Schicht **11a** eindiffundiert ist, die Grenzfläche **11d** zwischen dem Halbleiter **30** und der ersten Schicht **11a** erreicht und an der Oberfläche des Halbleiters **30** mit der Oxidschicht reagiert, kann diesem die Funktion eines Zerstörens der Oxidschicht verliehen werden.

Dies kann verwendet werden, um die Oxidschicht effektiv zu entfernen, welche die Eigenschaften des Kontaktes zwischen dem Halbleiter **30** und der ersten Schicht **11a** verschlechtert und den Stromfluß verhindert. Dadurch kann die Wärmebehandlung, die verwendet wird, um das Metall aus der zweiten Gruppe zu oxidieren, gleichzeitig als Wärmebehandlung dienen, um die Eigenschaften des Kontakts zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode **11** und dem Halbleiter **30** zu verbessern.

Nun wird das zweite Verfahren zur Herstellung einer lichtdurchlässigen Elektrode mit einem zweischichtigen Aufbau unter Bezugnahme auf Fig. 7 beschrieben. Zuerst wird ein Dünnfilm **11m** auf der Oberfläche des Halbleiters **30** gebildet, wobei der Dünnfilm **11m** eine Legierung ist, die ein Metall aus der ersten Gruppe, das eine geringe Reaktionsfähigkeit mit Sauerstoff aufweist, und ein Metall aus der zweiten Gruppe umfaßt, das mit Sauerstoff reagiert hat, um das lichtdurchlässige Metalloxid zu bilden (Fig. 7(a)). Der Dünnfilm **11m** kann durch gewöhnliche Widerstandsheizablagerung, Elektronenstrahlheizablagerung, Sputtern oder ein anderes derartiges Verfahren gebildet werden. In diesem Stadium weist der Dünnfilm **11m** eine dunkle Farbe mit einem metallischen Glanz auf.

Als nächstes wird, wie es in Fig. 7(b) gezeigt ist, der Dünnfilm **11m** einer Wärmebehandlung in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre unterzogen, um eine Oxidation des Metalls aus der zweiten Gruppe einzuleiten und einen Metalloxidfilm auf der Oberfläche des Dünnfilms **11m** zu bilden. Wie bei dem ersten Herstellungsverfahren bedeutet eine Sauerstoff enthaltende Atmosphäre eine Atmosphäre, die Sauerstoffgas (O_2) oder Dampf (H_2O) oder dergl. enthält.

Dieses Verfahren erzeugt die zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode **11** durch Trennen des Dünnfilms **11m** in eine lichtdurchlässige erste Schicht **11a**, die ein Metall aus der ersten Gruppe umfaßt, das in Kontakt mit dem Halbleiter **30** steht und einen guten ohmschen Kontakt erzeugt, und in eine lichtdurchlässige zweite Schicht **11b**, die ein Oxid des Metalls aus der zweiten Gruppe umfaßt, das die Oberfläche der ersten Schicht **11a** bedeckt.

Wenn das zweite Herstellungsverfahren verwendet wird, enthält der Legierungsdünnfilm **11m**, der auf der Oberfläche des Halbleiters **30** gebildet ist, als einen Bestandteil das Metall aus der zweiten Gruppe, das mit Sauerstoff stark reaktionsfähig ist. So wird bei dem Wärmebehandlungsprozeß die Oxidschicht auf der Oberfläche des Halbleiters **30** zerstört, was zu guten elektrischen Kontakt-eigenschaften zwischen dem Metall aus der ersten Gruppe und dem Halbleiter **30** führt. Gleichzeitig reagiert das Metall aus der zweiten Gruppe mit Dampfphasensauerstoff, der weitläufig auf die Oberfläche des Dünnfilms **11m** diffundiert ist, wobei es ein lichtdurchlässiges Metalloxid wird, das sich an der Oberfläche des Dünnfilms **11m** fixiert, so daß die zweite Schicht **11b** gebildet wird. Dadurch dient die Wärmebehandlung, die verwendet wird, um das Metall aus der zweiten Gruppe zu

oxidieren, auch als eine Wärmebehandlung, um die Eigenschaften des Kontakts zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode 11 und dem Halbleiter 30 zu verbessern.

Wenn das zweite Herstellungsverfahren verwendet wird, ist es erwünscht, Metalle aus der ersten und aus der zweiten Gruppe auszuwählen, die zusammen als eine Legierung verwendet werden können, um einen Dünnsfilm zu bilden.

Der Ausdruck "Legierung", wie er hierin verwendet wird, bedeutet nicht nur Metalle, die auf dem atomaren Niveau verbunden sind, sondern auch ein Gemisch oder eine Mischung aus feinen Kristallkörnern. Dadurch kann beispielsweise ein Sputtertarget, das aus einer Mischung aus zwei Metallen besteht, verwendet werden, um eine Mischung aus Kristallen aus zwei Metallen an ein Substrat anzuhaften, selbst wenn die Metalle welche sind, die keine Legierung bilden, wenn sie miteinander verschmolzen werden. Das Wort "Legierung", wie es hierin verwendet wird, umschließt auch diesen Typ einer Mischung aus feinen Kristallen.

Das Mischungsverhältnis der Metalle aus der ersten und der zweiten Gruppe in der Legierung 11m, die der Dünnsfilm 11m umfaßt, kann bestimmt werden, indem aus den Dickenverhältnissen der Schichten, die nach der Wärmebehandlung gebildet worden sind, zurückgerechnet wird.

Bei dem obigen ersten und dem obigen zweiten Herstellungsverfahren muß die Konzentration des Sauerstoffs in der Atmosphäre, in der die Wärmebehandlung durchgeführt wird, auf der Grundlage der Eigenschaften des Metalls aus der zweiten Gruppe, das oxidiert werden soll, bestimmt werden. Auf der Grundlage verschiedener Studien wurde herausgefunden, daß, welche Moleküle auch immer verwendet werden, um die Sauerstoffatome einzuführen, die lichtdurchlässige Elektrode 11 die Lichtdurchlässigkeit nicht beständig zeigen konnte, wenn die Sauerstoffkonzentration kleiner als 1 ppm war. Daher wurde nachgewiesen, daß es notwendig ist, daß die Wärmebehandlungsatmosphäre mindestens 1 ppm Sauerstoff enthält.

Insbesondere bevorzugt sollte der Sauerstoffgehalt der Wärmebehandlungsatmosphäre kleiner als 25% sein. Mehr als 25% Sauerstoff kann zu einer Beschädigung des Verbundhalbleiters auf GaN-Basis während des Wärmebehandlungsprozesses führen.

Die Temperatur und die Zeit der Wärmebehandlung müssen gemäß dem zu oxidierenden Metall aus der zweiten Gruppe ausgewählt werden. Gemäß Studien von den Erfindern konnten Metalle aus der zweiten Gruppe nicht vollständig und gleichmäßig oxidiert werden, wie lange auch immer die Wärmebehandlung andauerte, wenn die Wärmebehandlungstemperatur unter 300°C lag. Andererseits konnten die Metalle bei einer Wärmebehandlungstemperatur von 450°C oder höher in weniger als einer Stunde gleichmäßig oxidiert werden. Da das Metall bei höheren Wärmebehandlungstemperaturen beständig oxidiert werden kann, kann irgendeine Temperatur über 300°C verwendet werden. Jedoch sollten natürlich eine Temperatur verwendet werden, die keine Zersetzung des Halbleiters 30 bewirkt.

Ungeachtet wie hoch die Temperatur innerhalb des obigen Bereiches eingestellt ist, kann auch keine vollständige und gleichmäßige Oxidation erreicht werden, wenn die Wärmebehandlungszeit kürzer als 1 Minute ist. Dementsprechend muß die Wärmebehandlung für 1 Minute oder länger durchgeführt werden.

Die Dünnsfilme können in einem Ofen unter normalen atmosphärischen Druckbedingungen oder bei einem niedrigen Druck wärmebehandelt werden. Jedoch ist ein Druck von mindestens 1 Torr wünschenswert. Wenn der Druck kleiner als 1 Torr ist, ist es schwierig, während der Wärmebehandlung eine hohe Sauerstoffkonzentration in dem Ofen aufrechtzuerhalten, was es unmöglich macht, beständig

Lichtdurchlässigkeit zu erreichen.

Das "Lift-Off-Verfahren" kann als das Musterungsverfahren verwendet werden, das benutzt wird, um die Form der lichtdurchlässigen Elektrode 11 zu bilden, oder es kann ein 5 Verfahren verwendet werden, das umfaßt, daß ein dünner Metallfilm über der gesamten Oberfläche gebildet wird, daß ein Resist verwendet wird, um ein Negativ des Musters auf dem dünnen Metallfilm zu bilden, und daß dann ein Ätzmittel verwendet wird, um die freigelegten Abschnitte des dünnen Metallfilms wegzäubern.

Das Bilden einer Schicht aus Ni auf der Halbleiteroberfläche gefolgt von einer Schicht aus Au auf der Ni-Schicht, und anschließend das Durchführen einer Wärmebehandlung, um eine Inversion der Elementverteilung in der Tiefe zu bewirken, ist ein Beispiel eines bekannten herkömmlichen Verfahrens, das verwendet wird, um einen zweiseitigen Aufbau zu bilden. Dieser zweiseitige Aufbau hilft, den ohmschen Kontakt mit der Halbleiteroberfläche zu steigern, den Widerstand zu verringern und die Bondingfestigkeit zu vergrößern.

Jedoch muß die Wärmebehandlung bei einer hohen Temperatur durchgeführt werden, um eine Wanderung des Au nach oben zur Oberfläche der Elektrodenschicht und eine Diffusion über einen weiten Bereich zu bewirken, und um eine Inversion der Elementverteilung zu bewirken. Als eine Folge ist es schwierig, die Diffusionsreaktion beständig zu steuern und eine beständige Qualität für die ohmschen Eigenschaften und Lichtdurchlässigkeit zu erreichen, die für die lichtdurchlässige Elektrode erforderlich sind. Im Gegensatz dazu können die beiden obigen Herstellungsverfahren dieser Erfindung mit nur einem geringen Grad an Diffusion durchgeführt werden, was es möglich macht, die Diffusionsreaktion bei noch niedrigeren Temperaturen zu steuern, und können so verwendet werden, um lichtdurchlässige Elektroden mit einer beständigen Qualität über einen noch weiteren Bereich von Wärmebehandlungstemperaturen zu erreichen.

Als ein Beispiel wurde das erste Herstellungsverfahren verwendet, um eine lichtdurchlässige Elektrode 11 unter Verwendung von Au für die erste Schicht 11a und Ni für die zweite Schicht 11b herzustellen, und die lichtdurchlässige Elektrode 11 wurde mit einer Elektrode verglichen, die durch das obige herkömmliche Verfahren hergestellt worden war. Die Ergebnisse zeigten, daß bei beiden Elektroden die Transmission direkt nach der Ablagerung 10% betrug und nach der Wärmebehandlung bei 550°C auf 50% anstieg. Wenn jedoch die Wärmebehandlungstemperatur auf 450°C verringert wurde, stieg die Transmission in dem Fall der herkömmlichen Elektrode nach der Wärmebehandlung auf 30% an, während in dem Fall der Elektrode, die durch das erste Verfahren hergestellt wurde, die Transmission nach der Wärmebehandlung auf 50% anstieg.

Das zweite Herstellungsverfahren wurde verwendet, um eine lichtdurchlässige Elektrode 11 unter Verwendung eines Dünnsfilms 11m aus einer Ni-Au-Legierung herzustellen, 55 gleichermaßen für einen Vergleich mit einer Elektrode, die durch das gleiche herkömmliche Verfahren hergestellt wurde. Wieder zeigten die Ergebnisse, daß die Transmission bei beiden Elektroden direkt nach der Ablagerung 10% betrug und nach der Wärmebehandlung bei 550°C auf 50% anstieg. Wenn jedoch die Wärmebehandlungstemperatur auf 400°C verringert wurde, stieg in dem Fall der herkömmlichen Elektrode die Transmission nach der Wärmebehandlung nur auf 15%, während in dem Fall der Elektrode, die durch das zweite Verfahren hergestellt worden war, die Transmission nach der Wärmebehandlung auf 50% anstieg.

Somit macht es die Verwendung des ersten und des zweiten Herstellungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung möglich, lichtdurchlässige Elektroden mit guter Quali-

tät 11 über einen weiteren Bereich von Wärmebehandlungs-temperaturen herzustellen.

Nun wird die Anordnung erläutert, welche die lichtdurchlässige Elektrode 11 umfaßt, die derart gebildet ist, daß sie über der Drahtbondingelektrode 20 (21) liegt.

Fig. 8 zeigt eine zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode 11, bei der die lichtdurchlässige Elektrode über der gesamten oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 liegt. Das Bilden der lichtdurchlässigen Elektrode 11, so daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 bedeckt, macht es möglich, die Anhaftung zwischen der ersten Schicht 11a und der Drahtbondingelektrode 20 zu verbessern. Dies macht es möglich, zu verhindern, daß die lichtdurchlässige Elektrode 11 sich von der Drahtbondingelektrode 20 ablöst oder abschält, selbst wenn es nur eine geringe Anhaftungsfähigkeit zwischen dem Material der ersten Schicht 11a und dem Material der Drahtbondingelektrode 20 gibt.

Wie bei der in Fig. 4 gezeigten Anordnung wird irgend eine Musterabweichung, die während der Maskenausrichtungsprozedur auftreten könnte, den Kontakt zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode 11 und der Drahtbondingelektrode 20 nicht beeinträchtigen, weil die lichtdurchlässige Elektrode 11 die gesamte Drahtbondingelektrode 20 mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt.

Weil zusätzlich die Drahtbondingelektrode 20 von der lichtdurchlässigen Elektrode 11 nach unten in Richtung des Halbleiters 30 gedrückt wird, ist die Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode 20 und dem Halbleiter 30 vergrößert, was auch hilft, zu verhindern, daß sich die Drahtbondingelektrode 20 von dem Halbleiter 30 ab schält.

Das Bedecken der Drahtbondingelektrode 20 mit der zweischichtigen lichtdurchlässigen Elektrode 11 ermöglicht, daß die im Folgenden erklärten Effekte zutage treten. Von der ersten Schicht 11a und der zweiten Schicht 11b, welche die lichtdurchlässige Elektrode 11 bilden, wird die zweite Schicht 11b ein Metalloxid mit einer niedrigen Leitfähigkeit, wobei bei der in Fig. 6 gezeigten Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode 11 um die äußere Umfangsoberfläche der Drahtbondingelektrode 20 herum und mit dieser in Kontakt gebildet ist, der Strom, der in die lichtdurchlässige Elektrode 11 von um die Drahtbondingelektrode 20 herum eintritt, nur durch den Dickenabschnitt der ersten Schicht 11a fließt, so daß die Leitfähigkeit halbiert ist. Weil im Gegensatz dazu die lichtdurchlässige Elektrode 11 die gesamte Drahtbondingelektrode 20 mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt, kann die Fläche des elektrischen Kontakts mit der ersten Schicht 11a stark ausgedehnt werden. Dies verbessert die Leitfähigkeit des Stromes von der Drahtbondingelektrode 20 in die lichtdurchlässige Elektrode 11 mit einer entsprechenden Verringerung des Widerstandes stark, wodurch es ermöglicht wird, daß verschwendlicher Energieverbrauch verringt wird.

Wenn die lichtdurchlässige Elektrode 11 derart gebildet ist, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 bedeckt und falls die zweite Schicht 11b der lichtdurchlässigen Elektrode 11 aus einem Metalloxid mit guten Bondingeigenschaften gebildet ist, können die Drahtbondingelektrode 20 und der Abschnitt der lichtdurchlässigen Elektrode 11 auf der Oberseite der Drahtbondingelektrode 20 als eine integrierte Drahtbondingelektrode 20 betrachtet werden, und die obere Oberfläche ihrer zweiten Schicht 11b kann zum Bonden verwendet werden, wie es oben beschrieben ist.

In den meisten Fällen weist das Metalloxid, das die zweite Schicht 11b umfaßt, schlechte Bondingeigenschaften auf, die es schwierig machen, an die Schicht zu bonden. Wenn dies der Fall ist, kann eine Anordnung, wie diejenige,

die in Fig. 9 gezeigt ist, verwendet werden, bei der ein Abschnitt der zweiten Schicht 11b, der dem mittleren Abschnitt der Drahtbondingelektrode 20 entspricht, entfernt ist, wobei nur der Teil der zweiten Schicht 11b um den Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 zurückbleibt, wodurch die erste Schicht 11a an diesem Abschnitt freigelegt ist.

Wenn die erste Schicht 11a aus einem Material mit guten Bondingeigenschaften gebildet ist, kann dieser Abschnitt 10 der ersten Schicht 11a als ein integraler Teil der Drahtbondingelektrode 20 betrachtet werden, wodurch es gestattet ist, daß die freigelegte obere Oberfläche der ersten Schicht 11a zum Bonden verwendet wird. Wenn die Elektrodenhöhe nicht ausreicht, können Al oder Au, die gute Bondingeigenschaften aufweisen, als eine Schichtanordnung auf der ersten Schicht 11a verwendet werden, und der beschichtete Abschnitt 15 20c kann als ein integraler Teil der Drahtbondingelektrode 20 betrachtet werden, und die obere Oberfläche des beschichteten Abschnittes 20c kann zum Bonden verwendet werden.

Wenn sowohl die erste Schicht 11a als auch die zweite Schicht 11b aus einem Material mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet sind, kann die erste Schicht 11a gleichzeitig mit der zweiten Schicht 11b entfernt werden, wobei 25 nur der Teil der lichtdurchlässigen Elektrode 11 zurückbleibt, der über dem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 liegt, wie es in Fig. 10 gezeigt ist, wobei die obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 teilweise freigelegt ist. Der freigelegte Abschnitt der Drahtbondingelektrode 20 kann zum Bonden verwendet werden, oder der freigelegte Abschnitt kann mit einem Material, wie 30 Au oder Al, die gute Bondingeigenschaften aufweist, beschichtet werden, und der beschichtete Abschnitt 20c kann dann als ein integraler Teil der Drahtbondingelektrode 20 betrachtet werden, und die obere Oberfläche des beschichteten Abschnitts 20c kann zum Bonden verwendet werden.

Die Verwendung dieser Anordnung macht es möglich, gute Bondingeigenschaften sicherzustellen, selbst wenn die zweite Schicht 11b oder sowohl die zweite Schicht 11b als auch die erste Schicht 11a aus einem Material mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet sind.

Selbst wenn nur die zweite Schicht 11b entfernt ist, bleibt die erste Schicht 11a dennoch in Kontakt um die obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode 20 herum, so daß, wenn die lichtdurchlässige Elektrode 11 über der Drahtbondingelektrode 20 liegt, außerdem das Verhindern eines Lösens, die Verringerung der Auswirkung einer Musterfehlaustrichtung und andere derartige Effekte bewahrt werden können. Selbst wenn sowohl die zweite Schicht 11b als auch die erste Schicht 11a entfernt sind, bleibt dennoch die lichtdurchlässige Elektrode 11 in Kontakt um den Umfang der Drahtbondingelektrode 20 herum, so daß, wenn die lichtdurchlässige Elektrode 11 auf der Drahtbondingelektrode 20 liegt, auch das Verhindern eines Lösens, die Verringerung der Auswirkung einer Musterfehlaustrichtung und andere derartige Effekte bewahrt werden können.

Nun werden Beispiele beschrieben, welche die Elektrode für lichtemittierende Halbleitervorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung betreffen. Jedoch ist es zu verstehen, daß die Erfindung nicht auf die Beispiele beschränkt ist.

Beispiel 1

Fig. 11 ist eine Draufsicht, welche die Anordnung der Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung zeigt, die ein erstes Beispiel der vorliegenden Erfindung ist, und Fig. 12 ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie 12-12 von Fig. 11. In der Zeichnung ist eine Elektrode 1A

für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung (nachstehend auch einfach "Vorrichtungselektrode" genannt) auf einem Schichtkörper 3A angeordnet. Die Vorrichtungselektrode 1A und der Schichtkörper 3A bilden eine lichtemittierende Vorrichtung. Die Vorrichtungselektrode 1A umfaßt eine p-leitende Elektrode 101 und eine n-leitende Elektrode 106.

Der Schichtkörper 3A umfaßt ein Saphirsubstrat, auf das eine AlN-Pufferschicht, eine n-leitende GaN-Schicht, eine InGaN-Schicht, eine p-leitende AlGaN-Schicht und eine p-leitende GaN-Schicht 301 in dieser Reihenfolge beschichtet sind. Die p-leitende Elektrode 101 wurde durch das folgende Verfahren auf dem Schichtkörper 3A gebildet.

Zuerst wurde eine bekannte Photolithographietechnologie verwendet, um eine AuBe-Schicht 211a einer Drahtbondingelektrode 211 auf der p-leitenden GaN-Schicht 301 zu bilden.

Um die Drahtbondingelektrode 211 (AuBe-Schicht 211a) zu bilden, wurde zuerst der Schichtkörper 3A in eine Vakuumablagerungsvorrichtung (nicht gezeigt) gesetzt, in der AuBe, das zu Beginn 1 Gew.-% Be enthielt, zu einer Dicke von 500 nm über der gesamten Oberfläche der p-leitenden GaN-Schicht 301 bei einem Druck von 3×10^{-6} Torr abgelagert wurde, um dadurch einen Dünffilm aus AuBe zu bilden. Der Schichtkörper 3A, auf den der AuBe-Dünffilm abgelagert worden war, wurde dann aus der Vakuumablagerungsvorrichtung entfernt, und es wurde eine normale Photolithographietechnik verwendet, um ein positives Muster auf Resistbasis von einer Drahtbondingelektrode zu bilden, die einen Resist umfaßte. Dann wurde der Schichtkörper 3A in ein Au-Ätzmittel eingetaucht, um die freigelegten Abschritte des AuBe-Dünffilms zu entfernen, wodurch die AuBe-Schicht 211a gebildet wurde.

Gemäß dem folgenden Verfahren wurde eine einen zweischichtigen Aufbau aufweisende lichtdurchlässige Elektrode 111 gebildet, indem eine erste Schicht 111a aus Au auf der p-leitenden GaN-Schicht 301 gebildet wurde und eine zweite Schicht 111b aus NiO auf der ersten Schicht 111a gebildet wurde.

Dann wurde Photolithographie verwendet, um ein negatives Muster auf Resistbasis der lichtdurchlässigen Elektrode 111 auf dem Schichtkörper 3A zu bilden, auf dem die Drahtbondingelektrode 211 fertiggestellt worden war. Als nächstes wurde der Schichtkörper 3A in die Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, in der zuerst Au mit einer Dicke von 20 nm auf der p-leitenden GaN-Schicht 301 unter einem Druck von 3×10^{-6} Torr gebildet wurde und dann eine Ablagerungsbildung von 10 nm aus Ni in der gleichen Vorrichtung folgte. Der Schichtkörper 3A, auf den das Au und Ni abgelagert worden waren, wurde dann aus der Vakuumablagerungsvorrichtung entfernt und durch ein gewöhnliches Lift-Off-Verfahren behandelt, um einen zweischichtigen Dünffilm aus Au und Ni in einer gewünschten Form zu bilden.

Der Schichtkörper 3A wurde dann in einem Wärmebehandlungsofen bei einer Temperatur von 550°C für 10 Minuten in einer Atmosphäre aus strömendem Argon, die 1% Sauerstoffgas enthielt, wärmebehandelt. Als der Schichtkörper 3A aus dem Ofen entfernt wurde, waren die beiden Dünffilme 111a und 111b aus Au und Ni auf dem Schichtkörper 3A von einem dunklen bläulichen Grau und zeigten Lichtdurchlässigkeit. Dies war die Art und Weise, wie die zweischichtige lichtdurchlässige Elektrode 111 gebildet wurde. Diese Wärmebehandlung diente gleichzeitig als eine Wärmebehandlung, um einen ohmschen Kontakt zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode 111 und der p-leitenden GaN-Schicht 301 zu erhalten, und als eine Wärmebehandlung, um die Anhaftung zwischen der Drahtbondingelek-

trode 211 (AuBe-Schicht 211a) und der p-leitenden GaN-Schicht 301 zu verbessern.

Die derart durch das obige Verfahren hergestellte lichtdurchlässige Elektrode 111 zeigte eine Transmission von 45% im Fall von Licht mit einer Wellenlänge von 450 nm. Diese Transmission wurde an einer Probe gemessen, deren Aufbau mit der hergestellten lichtdurchlässigen Elektrode 111 identisch war, die jedoch zu einer Größe ausgebildet war, die für eine Messung geeignet war.

Es wurde Auger-Elektronenspektroskopie (AES) verwendet, um Bestandteile in Richtung der Tiefe der lichtdurchlässigen Elektrode 111 zu analysieren. Dies zeigte, daß es keine große Differenz in der Dicke der lichtdurchlässigen Elektrode 111 zwischen vor und nach der Wärmebehandlung gab, jedoch zeigte die AES, daß von der zweiten Schicht 111b eine große Menge Sauerstoff aufgenommen wurde, was die Oxidation des Ni veranlaßte. Fig. 13 ist ein Profil in Richtung der Tiefe der jeweiligen Elemente der Elektrode, wie es durch die AES gemessen wurde.

Das Profil der Elektrodenzusammensetzung in Richtung der Tiefe, das in Fig. 13 gezeigt ist, zeigt, daß die zweite Schicht 111b aus einem Oxid von Ni besteht, das Ni und Sauerstoff enthält, daß die erste Schicht 111a aus Au mit einem geringen Ni-Gehalt besteht, und daß es einen Gradientenbereich der Zusammensetzung R1 in dem Bereich in der Nähe der Grenzfläche zwischen der ersten Schicht 111a und einer zweiten Schicht 111b gibt, bei dem die Sauerstoffkonzentration allmählich abnimmt, wenn man in Richtung des Substrats geht.

Die zweite Schicht 111b wurde unter Verwendung von Dünffilmröntgenbeugung (XRD) bewertet, und es wurde herausgefunden, daß sie das in Fig. 14 gezeigte Spektrum aufweist. Von den Spitzenpositionen ist es bekannt, daß die Spitzen P1, P2, P3 und P4 jeweils der Beugung der (111)-, (200)-, (220)- und (311)-Flächen des NiO entsprechen, was zeigt, daß die zweite Schicht 111b aus zufällig orientierten Kristallen aus NiO besteht. In dem Spektrum wurde auch eine schwache Beugungsspitze P6 von der (111)-Fläche des Ni detektiert. Es wurden auch Beugungsspitzen P5 und P7 von den Au-(111)- und (220)-Flächen gefunden, welche die erste Schicht 111a bilden. Dies ist so zu betrachten, als daß es anzeigt, daß es eine Anhäufung von NiO-Kristallkörnern gibt, in die eine kleine Menge Ni-Kristallkörner gemischt ist. Dadurch konnte bestätigt werden, daß die zweite Schicht 111b aus NiO und einer kleinen Menge Ni besteht.

Als nächstes wurde eine bekannte Photolithographietechnologie verwendet, um einen Musterresist zu bilden und somit einen Abschnitt der Drahtbondingelektrode 211 (AuBe-Schicht 211a) zu belichten. Der Schichtkörper 3A wurde dann in konzentrierte Chlorwasserstoffsäure getaut, um den freigelegten Abschnitt der NiO-Schicht zu entfernen. Auf diese Weise wurde das NiO der zweiten Schicht 111b in einem Bereich der AuBe-Schicht 211a entfernt, wodurch die Au-Schicht freigelegt wurde, welche die erste Schicht 111a bildete.

Der Schichtkörper 3A wurde dann in eine Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, und es wurde Vakuumablagerung auf die gleiche Art und Weise wie bei der Ablagerung der AuBe-Schicht 211a verwendet, um eine Au-Schicht mit einer Dicke von 500 nm zu bilden. Dieser Vapor-Depositions-Prozeß erzeugte eine Verschmelzung mit der ersten Schicht 111a, die das Backing bildete, wobei das Au, das zu diesem Zeitpunkt mittels Dampf abgelagert wurde, mit dem Au der ersten Schicht 111a integriert wurde. Der Schichtkörper 3A wurde aus der Vorrichtung entfernt und durch eine Lift-Off-Prozedur behandelt, wodurch die Drahtbondingelektrode 211 fertiggestellt wurde, die einen Aufbau aufwies, der, von der Seite des Schichtkörpers 3A ausgehend, aus der AuBe-

Schicht 211a und der Au-Schicht 211b bestand.

Dadurch wurde die p-leitende Elektrode 101 gebildet, welche die lichtdurchlässige Elektrode 111 und die Drahtbondingelektrode 211 umfaßt. Das Au, das für die erste Schicht 111a verwendet wurde, ist ein Metall, das einen guten ohmschen Kontakt mit der p-leitenden GaN-Schicht 301 liefert. Die Anwesenheit des NiO, das verwendet wurde, um die zweite Schicht 111b zu bilden, konnte verhindern, daß das Kugelbildungsphänomen auftrat. Die AuBe-Schicht 211a ist eine Legierung, die einen Kontakt mit hohem Widerstand mit der p-leitenden GaN-Schicht 301 bildet.

Dann wurde Trockenätzten verwendet, um die n-leitende GaN-Schicht des Schichtkörpers 3A teilweise freizulegen und somit eine n-leitende Elektrode 106 zu bilden, und dann wurde die n-leitende Elektrode 106 aus Al auf der freigelegten Fläche gebildet und wärmebehandelt, um einen ohmschen Kontakt der n-leitenden Elektrode 106 zu bewirken.

Der Wafer, der mit Vorrichtungselektroden 1A versehen war, die p-leitende Elektroden 101 und n-leitende Elektroden 106 aufwiesen, wurde dann zu 400- μm -Quadrat-Chips geschnitten, die dann an einem Leitungsrahmen angebracht und mit den Leitungen verbunden wurden, um dadurch lichtemittierende Dioden zu bilden. Die lichtemittierende Diode zeigte eine Emissionsausgangsleistung von 80 μW bei 20 mA und eine Durchlaßspannung von 2,8 V. Es gab kein Abschälen der Drahtbondingelektrode 211 während des Bondingprozesses. Es wurden 16 000 Chips aus dem Wafer erhalten, der im Durchmesser 2 Zoll maß. Chips mit einer Emissionsintensität von weniger als 76 μW wurden entfernt, was zu einer Ausbeute von 98% führte.

Beispiel 2

Fig. 15 ist eine Querschnittsansicht, die den Aufbau der Vorrichtungselektrode zeigt, die ein zweites Beispiel der vorliegenden Erfindung ist, wobei **Fig. 15(a)** das erste Stadium zeigt, **Fig. 15(b)** das zweite Stadium zeigt und **Fig. 15(c)** den Endzustand zeigt. Der Unterschied zwischen dem ersten und dem zweiten Beispiel ist, daß die zweischichtige Vorrichtungselektrode 112 des zweiten Beispiels als eine einschichtige Legierungsdünnfilmschicht 112m gebildet ist.

Die Vorrichtungselektrode 1B dieses Beispiels ist auf einem Schichtkörper 3B angeordnet, der den gleichen Aufbau wie der Schichtkörper 3A des ersten Beispiels aufweist. Die Vorrichtungselektrode 1B und der Schichtkörper 3B bilden eine lichtemittierende Vorrichtung. Die Vorrichtungselektrode 1B umfaßt eine p-leitende Elektrode 102 und eine n-leitende Elektrode 107.

Das folgende Verfahren wird verwendet, um die p-Seiten-Elektrode 102 auf der p-leitenden GaN-Schicht 302 zu bilden, die auf dem Schichtkörper 3B angeordnet ist.

Zuerst wurde eine bekannte Photolithographietechnik verwendet, um eine 500 nm dicke AuBe-Schicht 212a von einer Drahtbondingelektrode 212 auf der p-leitenden GaN-Schicht 302 zu bilden.

Die Legierungsdünnfilmschicht 112m, die aus einer Legierung aus Au und Ni bestand, wurde wie folgt gerade an dem Bereich gebildet, an dem die lichtdurchlässige Elektrode 112 auf der p-leitenden GaN-Schicht 302 gebildet war (**Fig. 15(a)**).

Zuerst wurde der Schichtkörper 3B in eine Vakuumablagervorrichtung gesetzt, in der eine Legierung aus Au und Ni auf der p-leitenden GaN-Schicht 302 unter einem Druck von 3×10^{-6} Torr abgelagert wurde. Für diesen Prozeß wurden Stücke aus Au und Ni auf ein Widerstandsheizung-Wolframboot in dem Volumenverhältnis von Au : Ni = 2 : 1 gesetzt. Nachdem das Boot durch den Durchgang eines Stromes erwärmt worden war, wurde bestätigt, daß das Me-

tall geschmolzen war, und nachdem lange genug gewartet worden war, um sicherzustellen, daß die Metalle ausreichend gemischt waren, wurde der Verschluß zwischen dem Schichtkörper 3B und dem Boot geöffnet, um die Vapor-Deposition zu beginnen und eine 30 nm dicke Legierungsdünnfilmschicht 112m aus AuNi zu bilden.

Der Schichtkörper 3B, auf dem die Legierungsdünnfilmschicht 112m gebildet worden war, wurde dann aus der Vakuumablagervorrichtung entfernt und gemäß einer gewöhnlichen Lift-Off-Prozedur behandelt, um den Legierungsdünnfilm 112m in einer gewünschten Form zu bilden, woher auf diese Art und Weise eine einschichtige Legierungsdünnfilmschicht 112m auf der p-leitenden GaN-Schicht 302 gebildet wurde. Es wurde Dünnfilmröntgenbeugung verwendet, um zu bestätigen, daß die Legierungsdünnfilmschicht 112m aus einer AuNi-Legierung gebildet war. Die Legierungsdünnfilmschicht 112m war dunkelgrau und wies einen metallischen Glanz auf. Es wurde beinahe keine Lichtdurchlässigkeit beobachtet.

Der Schichtkörper 3B wurde in einem Wärmebehandlungsofen bei einer Temperatur von 500°C für 10 Minuten in einer Atmosphäre aus strömendem Argon, die 20% Sauerstoffgas enthielt, wärmebehandelt. Als der Schichtkörper 3B aus dem Ofen entfernt wurde, war die Legierungsdünnfilmschicht 112m von einem dunklen bläulichen Grau und zeigte eine Lichtdurchlässigkeit, nachdem sie die lichtdurchlässige Elektrode 112 geworden war (**Fig. 15(b)**).

Die derart durch das obige Verfahren hergestellte lichtdurchlässige Elektrode 112 zeigte eine Transmission von 45% in bezug auf Licht mit einer Wellenlänge von 450 nm. Es wurden eine Messung der Transmission und die Dünnfilmröntgenbeugungsmessung, die unten beschrieben sind, unter Verwendung von lichtdurchlässigen Elektroden 112 vorgenommen, die zu einer Größe ausgebildet worden waren, die für Meßanwendungen geeignet ist.

Es wurde AES verwendet, um das Profil jedes Elements in Richtung der Tiefe der lichtdurchlässigen Elektrode 112 zu messen. Die Ergebnisse sind in **Fig. 16** gezeigt. Es wurde herausgefunden, daß sich die lichtdurchlässige Elektrode 112 nach der Wärmebehandlung in eine erste Schicht 112a, die aus im wesentlichen reinem Au bestand, das in Kontakt mit der p-leitenden GaN-Schicht 302 stand, und in die zweite Oberflächenschicht 112b aufgespalten hatte, die aus einem Oxid von Ni bestand. Es gibt einen Gradientenbereich der Zusammensetzung R2 in dem Bereich in der Nähe der Grenzfläche zwischen der ersten Schicht 112a und der zweiten Schicht 112b, bei dem die Sauerstoffkonzentration allmählich abnimmt, wenn man in Richtung des Substrats geht. Es wurde auch herausgefunden, daß die erste Schicht 112a, die aus Au bestand und in Kontakt mit der p-leitenden GaN-Schicht 302 stand, im wesentlichen kein Ni enthielt.

Es wurden auch Spurenmengen von Ga in der ersten Schicht 112a detektiert, was anzeigt, daß während der Anfangsphase der Wärmebehandlung das Ni eine Ga-Oxidschicht zerstörte, die auf der Oberfläche der p-leitenden GaN-Schicht 302 vorhanden war.

Beim Bewerten der zweiten Schicht 112b nach der Wärmebehandlung unter Verwendung der Dünnfilmröntgenbeugung wurde herausgefunden, daß die zweite Schicht 112b aus NiO und einer kleinen Menge Ni bestand.

Als nächstes wurde, wie bei dem ersten Beispiel, eine bekannte Photolithographietechnologie verwendet, um einen Abschnitt der zweiten Schicht 112b über der Drahtbondingelektrode 212 (AuBe-Schicht 212a) zu entfernen. Der Schichtkörper 3B wurde dann in eine Vakuumablagervorrichtung gesetzt, und es wurde Vakuumablagierung verwendet, um eine Au-Schicht mit einer Dicke von 500 nm zu bilden, und dann unter Verwendung einer normalen Lift-

Off-Prozedur behandelt, um dadurch eine Drahtbondingelektrode 212 fertigzustellen, die einen mehrschichtigen Aufbau aufwies, der, von der Seite des Schichtkörpers 3B ausgehend, aus einer AuBe-Schicht 212a und einer Au-Schicht 212b bestand, wodurch eine p-Seiten-Elektrode 102 gebildet wurde; die aus der lichtdurchlässigen Elektrode 112 und der Drahtbondingelektrode 212 bestand.

Dann wurde eine n-leitende Al-Elektrode 107 auf der freigelegten Fläche gebildet und wärmebehandelt, um einen ohmschen Kontakt der n-leitenden Elektrode 107 zu bewirken.

Der Wafer, der mit Vorrichtungselektroden 1B versehen war, die p-leitende Elektroden 102 und n-leitende Elektroden 107 aufwiesen, wurde dann zu 400- μm -Quadrat-Chips geschnitten, die dann an einem Leitungsrahmen angebracht und mit den Leitungen verbunden wurden, um dadurch lichtemittierende Dioden zu bilden. Die lichtemittierenden Dioden zeigten jeweils eine Beleuchtungsausgangsleistung von 80 μW bei 20 mA und eine Durchlaßspannung von 2,9 V. Es gab kein Abschälen der Drahtbondingelektrode 212 während des Bondingprozesses. Es wurden 16 000 Chips aus dem Wafer erhalten, der im Durchmesser 2 Zoll maß. Chips mit einer Emissionsintensität von weniger als 76 μW wurden entfernt, was zu einer Ausbeute von 98% führte.

Beispiel 3

Fig. 17 ist eine Draufsicht, welche die Anordnung eines dritten Beispiels der Vorrichtungselektrode der vorliegenden Erfindung zeigt, und **Fig. 18** ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie 18-18 von **Fig. 17**. Der Unterschied zwischen diesem dritten Beispiel und dem ersten Beispiel ist, daß die Drahtbondingelektrode 213 einen dreischichtigen Aufbau aufweist, und daß die Schichten 113a und 113b, welche die lichtdurchlässige Elektrode 113 bilden, jeweils aus Pd bzw. SnO gebildet sind.

Die Vorrichtungselektrode 1C bei diesem Beispiel ist auf einem Schichtkörper 3C angeordnet, der den gleichen Aufbau wie die Vorrichtungselektrode 1A bei dem ersten Beispiel aufweist. Die Vorrichtungselektrode 1C und der Schichtkörper 3C bilden zusammen eine lichtemittierende Vorrichtung. Die Vorrichtungselektrode 1C umfaßt eine p-leitende Elektrode 103 und eine n-leitende Elektrode 108.

Das folgende Verfahren wurde verwendet, um die p-leitende Elektrode 103 auf der p-leitenden GaN-Schicht 303 zu bilden, die auf dem Schichtkörper 3C angeordnet war.

Zuerst wurde eine bekannte Photolithographietechnik verwendet, um Ti auf der p-leitenden GaN-Schicht 303 abzulagern und somit eine Ti-Schicht 213a der Drahtbondingelektrode 213 zu bilden. Die Ti-Schicht 213a wurde durch das gleiche Verfahren gebildet, das bei dem ersten Beispiel verwendet wurde.

Das folgende Verfahren wurde verwendet, um eine mehrschichtige lichtdurchlässige Elektrode 113 zu bilden, die eine erste Schicht 113a aus Pd, die auf der p-leitenden GaN-Schicht 303 gebildet wurde, und eine zweite Schicht 113b aus SnO umfaßte, die auf der ersten Schicht 113a gebildet wurde.

Dann wurde Photolithographie verwendet, um ein negatives Muster auf Resistbasis der lichtdurchlässigen Elektrode 113 auf dem Schichtkörper 3C zu bilden, auf dem die Bildung der Drahtbondingelektrode 213 (Ti-Schicht 213a) fertiggestellt worden war. Als nächstes wurde der Schichtkörper 3C in die Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, in der zuerst eine 5 nm dicke erste Schicht 113a aus Pd auf der p-leitenden GaN-Schicht 303 unter einem Druck von 3×10^{-6} Torr gebildet wurde, dann eine Ablagerungsbildung einer 10 nm dicken zweiten Schicht 113b aus Sn in der gleichen

Vorrichtung folgte. Der Schichtkörper 3C, auf dem das Pd und Sn abgelagert worden waren, wurde dann aus der Vakuumablagerungsvorrichtung entfernt und durch ein gewöhnliches Lift-Off-Verfahren behandelt, um einen Dünnfilm aus Pd und Sn in einer gewünschten Form zu bilden.

Der Schichtkörper 3C wurde dann bei 500°C für 60 Minuten in einer Sauerstoffgasatmosphäre in einem Wärmebehandlungsofen wärmebehandelt. Die Wärmebehandlung hatte einen doppelten Zweck, und zwar das Sn der zweiten Schicht 113b zu oxidieren, um transparentes SnO zu bilden und einen ohmschen Kontakt zwischen der ersten Schicht 113a und der p-leitenden GaN-Schicht 303 zu bilden. Bei dieser Wärmebehandlung wurde die lichtdurchlässige Elektrode 113 gebildet, welche die erste Schicht 113a aus Pd und die zweite Schicht 113b aus SnO umfaßte.

Um den Abschnitt des SnO von der lichtdurchlässigen Elektrode 113, der die Drahtbondingelektrode 213 (Ti-Schicht 213a) überlappte, zu entfernen, wurde Photolithographie verwendet, um einen Musterresist zum Belichten eines Abschnitts der lichtdurchlässigen Elektrode 113 zu bilden, der die Ti-Schicht 213a überlappte, dem ein Eintauchen in Säure folgte. Es wurde eine Säure verwendet, die nur das SnO auflöste ohne das Pd aufzulösen. Auf diese Weise wurde in einem Teil der lichtdurchlässigen Elektrode 113, der die Ti-Schicht 213a überlappte, die zweite Schicht 113b aus SnO vollständig entfernt, wobei die erste Schicht 113a aus Pd freigelegt wurde.

Nachdem der Bereich durch das Entfernen der zweiten Schicht 113b freigelegt worden war, wurde als nächstes an einem anderen Bereich ein Resistmuster gebildet. Der Schichtkörper 3C wurde in eine Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, und es wurde Vakuumablagerung verwendet, um eine Au-Schicht durch das gleiche Verfahren zu bilden, das verwendet wurde, um die Ti-Schicht 213a zu bilden, der Schichtkörper 3C wurde aus der Vorrichtung entfernt und durch ein Lift-Off-Verfahren wärmebehandelt. Dieses ließ nur das Au, das auf der ersten Schicht 113a abgelagert war, als das Backing freigelegt. Dies vervollständigte die Drahtbondingelektrode 213, die einen mehrschichtigen Aufbau in der Form, die, von der Seite des Schichtkörpers 3C ausgehend, die Ti-Schicht 213a, die Pd-Schicht 213b und die Au-Schicht 213c aufwies.

Dadurch wurde die p-leitende Elektrode 103 gebildet, welche die lichtdurchlässige Elektrode 113 und die Drahtbondingelektrode 213 umfaßte. Das SnO, das für die zweite Schicht 113b verwendet wurde, ist als leitendes Oxid bekannt, jedoch weist es im Vergleich mit Metall einen hohen spezifischen Widerstand auf, der es schwierig macht, eine gute Kontinuität zu erreichen, selbst wenn es mit Metall kontaktiert ist. Das heißt, daß an dem Abschnitt der Drahtbondingelektrode 213 die zweite Schicht 113b entfernt ist, um die Bondingeigenschaften zu verbessern. Das Pd, das für die erste Schicht 113a verwendet wird, ist ein Metall, das einen guten ohmschen Kontakt mit der p-leitenden GaN-Schicht 303 liefert. Das Ti, das für die untere Schicht 213a der Drahtbondingelektrode 213 verwendet wird, ist ein Metall, das einen Kontakt mit hohem Widerstand mit der p-leitenden GaN-Schicht 303 bildet.

Es wurde Trockenätzungen verwendet, um die n-leitende GaN-Schicht des Schichtkörpers 3C teilweise freizulegen und somit eine n-leitende Elektrode 108 zu bilden, und es wurde eine Ti-Schicht 108a auf dem freigelegten Abschnitt gebildet, und es wurde eine Al-Schicht 108b auf der Ti-Schicht 108a gebildet, und es wurde eine Wärmebehandlung verwendet, um einen ohmschen Kontakt mit der n-leitenden GaN-Schicht zu bewirken und dadurch die zweischichtige n-leitende Elektrode 108 zu bilden.

Der Wafer, der auf diese Weise mit Vorrichtungselektron-

den 1C ausgebildet war, die eine p-leitende Elektrode 103 und eine n-leitende Elektrode 108 aufwiesen, wurde dann zu 400- μm -Quadrat-Chips geschnitten, die an Leitergrahmen angebracht und mit den Leitungen verbunden wurden, um lichtemittierende Dioden zu bilden. Diese lichtemittierenden Dioden zeigten eine Beleuchtungsausgangsleistung von 80 μW bei 20 mA und eine Durchlaßspannung von 2,8 V. Es gab kein Abschälen der Drahtbondingelektrode 213 während des Bondingprozesses. Es wurden 16 000 Chips aus dem Wafer erhalten, der im Durchmesser 2 Zoll maß. Chips mit einer Emissionsintensität von weniger als 76 μW wurden entfernt, was zu einer Ausbeute von 98% führte.

Beispiel 4

Fig. 19 ist eine Draufsicht, welche die Anordnung eines vierten Beispiels der Vorrichtungselektrode gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt, und **Fig. 20** ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie 20-20 von **Fig. 19**. Die Drahtbondingelektrode 214 dieses vierten Beispiels weist einen dreischichtigen Aufbau auf, und die lichtdurchlässige Elektrode 114 ist von einem zweischichtigen Typ, der aus Legierungsdünnfilmmonoschichten aus Pt und TiO₂ gebildet ist.

Die Vorrichtungselektrode 1D bei diesem Beispiel ist auf einem Schichtkörper 3D angeordnet, der den gleichen Aufbau wie die Vorrichtungselektrode 1A bei dem ersten Beispiel aufweist. Die Vorrichtungselektrode 1D und der Schichtkörper 3D bilden zusammen eine lichtemittierende Vorrichtung. Die Vorrichtungselektrode 1D umfaßt eine p-leitende Elektrode 104 und eine n-leitende Elektrode 109.

Das folgende Verfahren wurde verwendet, um die p-leitende Elektrode 104 auf der p-leitenden GaN-Schicht 304 zu bilden, die auf dem Schichtkörper 3D angeordnet war.

Zuerst wurde eine bekannte Photolithographietechnik verwendet, um ein Muster aus einer AuBe-Schicht 214a in der Form einer Drahtbondingelektrode 214 auf der p-leitenden GaN-Schicht 304 zu bilden.

Dann wurden Photolithographie- und Lift-Off-Techniken verwendet, um eine Dünnfilmschicht aus einer Legierung aus Pt und Ti nur auf dem Bereich der p-leitenden GaN-Schicht 304 zu bilden, an dem eine lichtdurchlässige Elektrode 114 gebildet wurde.

In bezug auf die Ausbildung der Legierungsdünnfilmschicht wurde der Schichtkörper 3D in die Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, und es wurde unter Verwendung eines PtTi-Legierungstargets, bei dem das Pt und das Ti in einem gleichen volumetrischen Verhältnis enthalten waren, eine 20 nm dicke Legierungsdünnfilmschicht unter einem Druck von 3×10^{-6} Torr gebildet. Der Schichtkörper 3D, auf dem der PtTi-Legierungsdünnfilm abgelagert worden war, wurde dann aus der Vakuumablagerungsvorrichtung entfernt und durch ein gewöhnliches Lift-Off-Verfahren behandelt, um den Legierungsdünnfilm in einer gewünschten Form zu bilden. Auf diese Weise wurde ein PtTi-Legierungsdünnfilm auf der p-leitenden GaN-Schicht 304 gebildet. Der Dünnfilm wies eine silberne Farbe mit einem metallischen Glanz auf und zeigte im wesentlichen keine Lichtdurchlässigkeit.

Der Schichtkörper 3D wurde dann bei 450°C für eine Stunde in einer Stickstoffgasatmosphäre, die 10% Sauerstoffgas enthielt, in einem Wärmebehandlungsofen wärmebehandelt. Als der Legierungsdünnfilm nach der Wärmebehandlung durch ein optisches Mikroskop betrachtet wurde, wurde herausgefunden, daß er gelblich geworden war und seinen metallischen Glanz verloren hatte, und er zeigte 65 Lichdurchlässigkeit, indem er zu der lichtdurchlässigen Elektrode 114 geworden war.

Die derart durch das obige Verfahren hergestellte licht-

durchlässige Elektrode 114 wurde durch die Wärmebehandlung in ihrer Dicke nicht verändert und zeigte eine Transmission von 30% in bezug auf Licht mit einer Wellenlänge von 450 nm. Messungen unter Verwendung von AES und 5 Dünnfilmröntgenbeugung zeigten, daß das Ti in der PtTi-Legierung oxidiert worden war, wobei sich TiO₂ bildete, und sich an der Dünnfilmoberfläche abgeschieden hatte. Das heißt, im Anschluß an die Wärmebehandlung wurde die lichtdurchlässige Elektrode 114 ein Dünnfilm mit einem 10 Schichtaufbau, der aus einer ersten Schicht 114a aus Pt und einer zweiten Schicht 114b aus Ti-Oxid bestand.

Um den Abschnitt des TiO₂ der lichtdurchlässigen Elektrode 114, der die Drahtbondingelektrode 214 überlappte, zu entfernen, wurde Photolithographie verwendet, um einen

15 Musterresist zum Belichten des Abschnitts der lichtdurchlässigen Elektrode 114 zu bilden, der die Drahtbondingelektrode 214 überlappte, und der Schichtkörper 3D wurde dann in Säure eingetaucht. Es wurde eine Säure verwendet, die nur das TiO₂ auflöste, ohne das Pt aufzulösen. Auf diese 20 Weise wurde an einem Teil der lichtdurchlässigen Elektrode 114, der die Drahtbondingelektrode 214 überlappte, die zweite Schicht 114b aus TiO₂, vollständig entfernt, wobei die erste Schicht 114a aus Pt freigelegt wurde.

Nachdem der Bereich durch das Entfernen des TiO₂ freigelegt worden war, wurde als nächstes an einem anderen Bereich ein Resistmuster gebildet. Der Schichtkörper 3D wurde in eine Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, und es wurde Vakuumablagerung verwendet, um eine Au-Schicht durch das gleiche Verfahren zu bilden, das verwendet wurde, um die Drahtbondingelektrode 214 (AuBe-Schicht 214a) zu bilden. Der Schichtkörper 3D wurde aus der Vorrichtung entfernt und durch ein Lift-Off-Verfahren behandelt. Dies ließ nur das Au, das auf der ersten Pt-Schicht 114a abgelagert war, als das Backing freigelegt und vervollständigte die Drahtbondingelektrode 214, die einen mehrschichtigen Aufbau aufwies, der, von der Seite des Schichtkörpers 3D ausgehend, eine AuBe-Schicht 214a, eine Pt-Schicht 214b und eine Au-Schicht 214c umfaßt. So mit wurde die p-leitende Elektrode 104 gebildet, welche die lichtdurchlässige Elektrode 114 und die Drahtbondingelektrode 214 umfaßt.

Wie bei dem ersten Beispiel wurde eine n-Seiten-Al-Elektrode 109 gebildet und einer Wärmebehandlung unterzogen, um einen ohmschen Kontakt zu bewirken.

Der Wafer, der auf diese Weise mit Vorrichtungselektroden 1D ausgebildet war, die eine p-leitende Elektrode 104 und eine n-leitende Elektrode 109 aufwiesen, wurde zu 400- μm -Quadrat-Chips geschnitten, die dann an einem Leitergrahmen angebracht und mit den Leitungen verbunden wurden, um lichtemittierende Dioden zu bilden. Diese lichtemittierenden Dioden zeigten eine Beleuchtungsausgangsleistung von 80 μW bei 20 mA und eine Durchlaßspannung von 2,9 V. Es gab kein Abschälen der Drahtbondingelektrode 214 während des Bondingprozesses. Es wurden 16 000 Chips aus dem Wafer erhalten, der im Durchmesser 2 Zoll maß. Chips mit einer Emissionsintensität von weniger als 76 μW wurden entfernt, was zu einer Ausbeute von 96% führte.

Beispiel 5

Fig. 21 ist eine Draufsicht, welche die Anordnung der Vorrichtungselektrode gemäß einem fünften Beispiel der vorliegenden Erfindung zeigt, und **Fig. 22** ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie 22-22 von **Fig. 21**. Bei diesem fünften Beispiel ist die Drahtbondingelektrode 215 aus Al gebildet, und die Schichten 115a und 115b, welche die lichtdurchlässige Elektrode 115 bilden, sind jeweils aus Au

bzw. Cr_2O_3 gebildet.

Die Vorrichtungselektrode 1E von diesem Beispiel ist auf einem Schichtkörper 3E vorgesehen, der ein Saphirsubstrat umfaßt, auf dem eine $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ -Pufferschicht, eine n-leitende GaN-Schicht, eine InGaN-Schicht, die mit Zn und Si dotiert ist, eine p-leitende AlGaN-Schicht und eine p-leitende GaN-Schicht 305 in dieser Reihenfolge beschichtet sind. Die Vorrichtungselektrode 1E und der Schichtkörper 3E bilden zusammen eine lichtemittierende Vorrichtung. Die Vorrichtungselektrode 1E umfaßt auch eine p-leitende Elektrode 105 und eine n-leitende Elektrode 110.

Das folgende Verfahren wurde verwendet, um die p-leitende Elektrode 105 auf der p-leitenden GaN-Schicht 305 zu bilden, die auf dem Schichtkörper 3E abgelagert wurde.

Der vorverarbeitete Schichtkörper 3E wurde in eine Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, die auf einen Druck von 3×10^{-6} Torr evakuiert wurde, und der Herd der Elektronenstrahl-Strahlungsheizung der Vorrichtung wurde mit Al als das Quellmetall befüllt.

Nach dem Bestätigen des Vakuums wurde das Al bis zum Schmelzen erhitzt. Nach dem Bestätigen, daß das Al durch die Elektronenstrahlabstrahlung geschmolzen war, wurde der Verschluß zwischen dem Herd und der Halbleitersubstratspannvorrichtung geöffnet, um den Al-Ablagerungsprozeß zu beginnen. Es wurde ein Dickenmeßgerät vom Quarzoszillatortyp verwendet, um die Dicke des Films zu überwachen. Als die Filmdicke 1 µm erreicht hatte, wurde der Ablagerungsprozeß angehalten.

Der Schichtkörper 3E wurde aus der Vorrichtung entfernt, und es wurde Photolithographie verwendet, um ein Drahtbondingelektroden-Photoresistmuster auf dem Schichtkörper 3E zu bilden. Der Schichtkörper 3E wurde dann in ein Al-Ätzmittel eingetaucht, um freigelegte Abschnitte, die nicht von dem Photoresist bedeckt waren, zu entfernen und dadurch eine Al-Drahtbondingelektrode 215 in der gewünschten Form zu bilden, nachdem der Photoresist entfernt worden war.

Als nächstes wurde Photolithographie verwendet, um ein Photoresistmuster einer lichtdurchlässigen Elektrode auf dem Schichtkörper 3E zu bilden. Der Schichtkörper 3E wurde in eine Vakuumablagerungsvorrichtung gesetzt, die auf einen Druck von 3×10^{-6} Torr eingestellt war, und es wurde das gleiche Verfahren verwendet, wie es oben beschrieben wurde, um eine 10 nm dicke Schicht aus Au für die erste Schicht 115a und eine 20 nm dicke Schicht aus Cr für die zweite Schicht 115b zu bilden. Der Schichtkörper 3E wurde dann aus der Vorrichtung entfernt und durch ein gewöhnliches Lift-Off-Verfahren behandelt, wodurch ein zweischichtiger Dünnfilm aus Au und Cr in einer gewünschten Form gebildet wurde.

Dann wurde der Schichtkörper 3E in einem Wärmebehandlungsofen bei 650°C für 10 Minuten in einer Stickstoffgasatmosphäre, die 500 ppm Sauerstoff enthielt, wärmebehandelt. Die Reaktion mit dem Sauerstoff oxidierte das Cr der zweiten Schicht 115b, was zu einer lichtdurchlässigen Elektrode 115 mit einem ebenen Aufbau führte, der von der Seite des Schichtkörpers 3E ausgehend aus einer ersten Schicht 115a aus Au und einer zweiten Schicht 115b aus Cr_2O_3 bestand. Um den Abschnitt des Cr_2O_3 der lichtdurchlässigen Elektrode 115 zu entfernen, der die Drahtbondingelektrode 215 überlappte, wurde Photolithographie verwendet, um einen Musterresist zur Belichtung des Abschnitts der lichtdurchlässigen Elektrode 115, der die Drahtbondingelektrode 215 überlappte, zu bilden, und der Schichtkörper 3E wurde dann in Chlorwasserstoffsäure eingetaucht, um nur das Cr_2O_3 aufzulösen. Auf diese Weise wurde an einem Teil der lichtdurchlässigen Elektrode 115, der die Drahtbondingelektrode 215 überlappte, die zweite Schicht 115b aus

Cr_2O_3 vollständig entfernt, wobei die erste Schicht 115a aus Au freigelegt wurde. Dadurch wurde die p-leitende Elektrode 105 gebildet, die aus der lichtdurchlässigen Elektrode 115 und der Drahtbondingelektrode 215 bestand. Anschließend wurde die n-leitende Elektrode gebildet, und es wurde ein ohmscher Kontakt der n-leitenden Elektrode bewirkt. Auf diese Weise wurde die p-leitende Elektrode 105 gebildet, welche die lichtdurchlässige Elektrode 115 und die Drahtbondingelektrode 215 umfaßte. Wie bei dem ersten Beispiel wurde eine n-leitende Al-Elektrode 110 gebildet und einer Wärmebehandlung unterzogen, um einen ohmschen Kontakt zu bewirken.

Der Wafer, der auf diese Weise mit Vorrichtungselektroden 1E ausgebildet war, die eine p-leitende Elektrode 105 und eine n-leitende Elektrode 110 aufwiesen, wurde zu 400-µm-Quadrat-Chips geschnitten, die an Leitungsrahmen angebracht wurden, und die Elektroden wurden mit den Leitungen unter Verwendung eines Ultraschall-Drahtbonders verbunden. Während des Drahtbondingprozesses wurde im wesentlichen kein Abschälen der Drahtbondingelektrode 215 beobachtet.

Die Chips wurden dann in Harzpackungen eingeschlossen, um lichtemittierende Dioden zu bilden, die eine Beleuchtungsausgangsleistung von 80 µW bei 20 mA und eine Durchlaßspannung von 2,9 V zeigten. Es wurden 16 000 Chips aus dem Wafer erhalten, der im Durchmesser 2 Zoll maß. Chips mit einer Emissionsintensität von weniger als 78 µW wurden entfernt, was zu einer Ausbeute von 98% führte.

Es wurden herkömmliche Vorrichtungselektroden hergestellt, und die Vorrichtungselektroden der Beispiele 1 bis 5 wurden mit den herkömmlichen Vorrichtungselektroden verglichen.

Vergleichsbeispiel 1

Die Vorrichtungselektroden des ersten Vergleichsbeispiels waren auf einem Schichtkörper vorgesehen, der den gleichen Aufbau wie derjenige des ersten Beispiels aufwies. 40 Zuerst wurde eine Vakuumablagerungsvorrichtung verwendet, um eine lichtdurchlässige Elektrode zu bilden, die aus einer einzigen Schicht aus Au zusammengesetzt war, deren Dicke 25 nm betrug. Der Schichtkörper wurde einer Wärmebehandlung unterzogen, die aus einem Erwärmten auf 550°C für 10 Minuten in einer Argonatmosphäre bestand, um einen ohmschen Kontakt mit einer p-leitenden GaN-Schicht zu bewirken. Im Anschluß an die Wärmebehandlung zeigte es sich, daß sich die Lichtdurchlässigkeit der Oberfläche der lichtdurchlässigen Elektrode vergrößert 45 hatte, wobei jedoch der metallische Glanz verschwunden war. Die lichtdurchlässige Elektrode wurde mit einer Drahtbondingelektrode beschichtet. Bei lichtemittierenden Diode, die aus diesem Halbleitersubstrat hergestellt wurden, wurde die Lichtheission nur direkt unter der Drahtbondingelektrode erzeugt, und die Lichtheission war an der Oberfläche der lichtdurchlässigen Elektrode nicht sichtbar. Eine 50 Beobachtung durch ein optisches Mikroskop zeigte, daß der Au-Dünnfilm, der die lichtdurchlässige Elektrode bildete, kugelförmige Agglomerationen aufwies und es ihm an Kon-55 tinuität mangelte.

Vergleichsbeispiel 2

Die Vorrichtungselektroden des zweiten Vergleichsbeispiels waren auf einem Schichtkörper vorgesehen, der den gleichen Aufbau wie derjenige des ersten Beispiels aufwies, und es wurden die gleichen Vorgänge verwendet, um auf dem Schichtkörper eine Schicht aus Au und auf der Au-

Schicht eine NiO-Schicht und dadurch eine lichtdurchlässige Elektrode mit einem zweischichtigen Aufbau zu bilden. Im Gegensatz zum ersten Vergleichsbeispiel wurde in der lichtdurchlässigen Elektrode ein Fensterabschnitt an einer Position gebildet, an der die Drahtbondingelektrode angeordnet werden sollte, wobei das Halbleitersubstrat an diesem Abschnitt freigelegt wurde. Dann wurde eine Lift-Off-Technik verwendet, um auf dem Fensterabschnitt eine mehrschichtige Drahtbondingelektrode zu bilden, die aus einer AuBe-Schicht auf der Seite des Halbleitersubstrats und einer Au-Schicht auf der AuBe-Schicht bestand. Es wurde Trockenätznen verwendet, um die n-leitende Schicht an der Stelle der Ausbildung der n-leitenden Elektrode freizulegen. Dann wurde eine n-leitende Al-Elektrode an dem freigelegten Abschnitt gebildet. Es wurde eine Wärmebehandlung durchgeführt, um einen ohmschen Kontakt für die n-leitende Elektrode zu bilden.

Der derart mit p-leitenden und n-leitenden Elektroden ausgebildete Wafer wurde dann zu 400 µm-Quadrat-Chips geschnitten, die an einem Leitungsrahmen angebracht und mit den Leitungen verbunden wurden, um lichtemittierende Dioden zu bilden. Diese lichtemittierenden Dioden zeigten eine Beleuchtungsausgangsleistung von 50 µW bei 20 mA, die geringer als irgendeine der lichtemittierenden Dioden der Beispiele 1 bis 5 war. Mit 15,0 V war die Durchlaßspannung sehr hoch. Dies wurde durch die Metalloxidschicht bewirkt, welche die oberste Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode bildet und als ein Hindernis zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode und der Drahtbondingelektrode wirkt.

Während die erfinderischen Beispiele unter Bezugnahme auf lichtemittierende Dioden beschrieben wurden, kann die Vorrichtungselektrode der Erfindung auch auf Laserdioden angewandt werden.

Die vorliegende Erfindung liefert, wie sie im vorangehenden beschrieben wurde, die folgenden Effekte.

Der Bereich der Drahtbondingelektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, weist einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter auf, als ein Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht. Dies macht es möglich, zu unterbinden, daß Strom unter der Drahtbondingelektrode fließt, so daß der gesamte Strom von um die Drahtbondingelektrode herum in die lichtdurchlässige Elektrode injiziert wird, was zur Lichtemissionswirkung beiträgt. Das heißt, es findet keine Lichtemission unter der Drahtbondingelektrode statt, und es kann im wesentlichen die gesamte erzeugte Lichtemission von der lichtdurchlässigen Elektrode nach oben emittiert werden. Dadurch wird Strom effektiv ausgenutzt und der Lichtemissionswirkungsgrad ist verbessert.

Diese Elektrodenausgestaltung, die eine Drahtbondingelektrode und eine lichtdurchlässige Elektrode aufweist, kann leicht gebildet werden, indem Dünnfilme unter Verwendung eines Verfahrens, wie Vacuum-Vapor-Deposition, aufgewachsen werden. Der Prozeß ist sehr einfach, wobei er nur die Vapor-Deposition des Metallmaterials umfaßt, so daß eine Bildung der Filme schnell bewirkt werden kann. Das heißt, daß ein Stromfluß unter der Drahtbondingelektrode mittels eines einfachen Aufbaus, der leicht gebildet werden kann, sicher blockiert werden kann, ohne komplexe Prozesse vornehmen zu müssen.

Die Erfindung umfaßt auch eine Drahtbondingelektrode mit einem mehrschichtigen Aufbau. Dies bedeutet, daß, wenn der Bereich der Drahtbondingelektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, aus einem Material mit hohem Kontaktwiderstand gebildet wird, das keine guten Bondingeigenschaften aufweist, die Oberfläche der Drahtbondingelektrode mit einem Metall mit guten Bondingeigenschaften

versehen werden kann, wodurch eine Drahtbondingelektrode mit einem hohen Kontaktwiderstand zu dem Halbleiter und guten Bondingeigenschaften verwirklicht wird.

Die Vorrichtungselektrode der Erfindung stellt auch eine

- 5 Anordnung bereit, bei der die lichtdurchlässige Elektrode aus einer zweiten Metalloxidschicht besteht, die auf der ersten Metalloxidschicht auf der Halbleiterseite gebildet ist. Dies macht es möglich, die Kugelbildung zu verhindern, die bei der herkömmlichen Monoschichtanordnung auftritt, und
- 10 verbessert dadurch die Eigenschaften des ohmschen Kontakts zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode und der Halbleiteroberfläche und verstärkt die Verbindung dazwischen. Weil die zweite Schicht aus einem Metalloid gebildet ist, kann eine gute Lichtdurchlässigkeit verliehen werden,
- 15 den, was zu einer lichtdurchlässigen Elektrode mit einem guten Lichtdurchlässigkeitsdurchsatz führt.

Die zweite Schicht, die aus Metalloid gebildet ist, macht es möglich, der zweiten Schicht eine gute Durchlässigkeit zu verleihen und eine ausgezeichnete Gesamtdurchlässigkeit

- 20 der lichtdurchlässigen Elektrode zu verwirklichen.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei welcher der Sauerstoffanteil allmählich von der zweiten Schicht in Richtung der ersten Schicht in dem Bereich in der Nähe der Grenzfläche zwischen der zweiten Schicht und der ersten Schicht abnimmt, so daß die Zusammensetzung eine kontinuierliche Änderung von einer Zusammensetzung, die ein Metalloid enthält, zu einer Zusammensetzung erfährt, die ein Metall umfaßt. Dies führt zu einer stärkeren Anhaftung zwischen der ersten und der zweiten Schicht.

- 25 30 Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die erste Schicht ein Metallelement enthält, das ein Hauptbestandteil des Metalloids ist, das die zweite Schicht bildet. Dies führt auch zu einer stärkeren Anhaftung zwischen der ersten und der zweiten Schicht.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einer oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt. Da die lichtdurchlässige Elektrode das gesamte Äußere der Drahtbondingelektrode mit Ausnahme der unteren Oberfläche bedeckt, erzeugt dies eine Hauptverbesserung bei der Anhaftung zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode und der Drahtbondingelektrode. Selbst wenn es eine geringe Anhaftung zwischen dem Material, das verwendet wird, um die lichtdurchlässige Elektrode zu bilden, und dem Material gibt, das verwendet wird, um die Drahtbondingelektrode zu bilden, kann infolgedessen ein Abschälen und Ablösen der lichtdurchlässigen Elektrode von der Drahtbondingelektrode verhindert werden.

Selbst wenn eine gewisse Abweichung des Musters während der Maskenausrichtung auftritt, ist auch der Kontakt zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode und der Drahtbondingelektrode nicht beeinträchtigt, weil die lichtdurchlässige Elektrode die gesamte Drahtbondingelektrode mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt.

- 55 60 Weil außerdem die lichtdurchlässige Elektrode die Drahtbondingelektrode nach unten in Richtung des Halbleiters drückt, ist die Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode und dem Halbleiter vergrößert, was auch verhindert, daß sich die Drahtbondingelektrode von dem Halbleiter löst. Da die lichtdurchlässige Elektrode die gesamte Drahtbondingelektrode mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt, ist auch die Fläche des elektrischen Kontakts mit der ersten Schicht stark ausgedehnt. Dies verbessert die Leitfähigkeit des Stromes von der Drahtbondingelektrode in die lichtdurchlässige Elektrode bei einer entsprechenden Verringerung des Widerstandes stark, was es ermöglicht, daß verschwenderischer Energieverbrauch verringert wird.

Wenn die zweite Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode

aus einem Metalloxid mit einer geringen Leitfähigkeit gebildet ist, fließt der Strom, der in die lichtdurchlässige Elektrode von um die Drahtbondingelektrode herum eintritt, bei der herkömmlichen Anordnung nur durch den Dickenabschnitt der ersten Schicht und ist deshalb halbiert. Weil im Gegensatz dazu die lichtdurchlässige Elektrode die gesamte Drahtbondingelektrode bedeckt, ist eine ausreichende Kontinuität mit der Drahtbondingelektrode sichergestellt.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt. Dadurch kann die lichtdurchlässige Elektrode direkt mit einem freigelegten zentralen Abschnitt der Drahtbondingelektrode kontaktiert werden, oder der freigelegte Abschnitt kann mit einem Metall mit guten Bondingeigenschaften beschichtet werden. Dadurch können gute Bondingeigenschaften sichergestellt werden, selbst wenn die zweite Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode aus einem Material mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet ist oder sowohl die zweite Schicht als auch die erste Schicht aus Materialien mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet sind. Diese Anordnung macht es auch möglich, die Effekte des Verhinderns eines Abschälens der lichtdurchlässigen Elektrode der Verringerung der Auswirkung einer Musterfehläusrichtung und einer Verbesserung der Festigkeit der Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode und dem Halbleiter zu bewahren.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode derart ausgebildet ist, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt. Bei dieser Anordnung können auch die Verhinderung eines Lösens, die Verringerung der Auswirkung einer Musterfehläusrichtung, die Verbesserung der Festigkeit der Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode und dem Halbleiter und andere derartige Effekte bewahrt werden.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei welcher der Abschnitt der zweiten Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode, der über der Drahtbondingelektrode liegt, entfernt ist, so daß die erste Schicht freigelegt ist. Dies ermöglicht, daß die Bondingeigenschaften verbessert werden, indem der Abschnitt mit einem Material mit guten Bondingeigenschaften beschichtet wird. Dadurch können gute Bondingeigenschaften sichergestellt werden, selbst wenn die zweite Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode aus einem Material mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet ist oder sowohl die zweite Schicht als auch die erste Schicht aus Materialien mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet sind.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode von der lichtdurchlässigen Elektrode bedeckt ist, so daß der Kontakt zwischen den beiden sich über die gesamte Oberfläche erstreckt und nur die untere Oberfläche der Drahtbondingelektrode ausschließt. Dies liefert eine Hauptverbesserung bei der Anhaftung zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode und der Drahtbondingelektrode. Dadurch ist eine gute Anhaftung sichergestellt, selbst wenn die lichtdurchlässige Elektrode und die Drahtbondingelektrode aus Materialien mit schlechter Anhaftungsfähigkeit gebildet sind, und es verhindert auch ein Abschälen der lichtdurchlässigen Elektrode.

Selbst wenn während der Maskenausrichtung eine gewisse Abweichung des Musters auftritt, ist zudem der Kontakt zwischen der lichtdurchlässigen Elektrode und der Drahtbondingelektrode nicht beeinträchtigt, weil die lichtdurchlässige Elektrode die gesamte Drahtbondingelektrode mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt.

Weil außerdem die lichtdurchlässige Elektrode die Drahtbondingelektrode nach unten in Richtung des Halbleiters drückt, ist die Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode und dem Halbleiter vergrößert, wodurch auch verhindert wird, daß sich die Drahtbondingelektrode von dem Halbleiter löst.

Weil die lichtdurchlässige Elektrode zudem die gesamte Drahtbondingelektrode mit Ausnahme ihrer unteren Oberfläche bedeckt, ist die Fläche des elektrischen Kontakts mit der ersten Schicht stark ausgedehnt. Dies verbessert die Leitfähigkeit des Stromes von der Drahtbondingelektrode in die lichtdurchlässige Elektrode bei einer entsprechenden Verringerung des Widerstandes stark, was es ermöglicht, daß verschwenderischer Energieverbrauch verringert wird.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt. Dadurch kann die lichtdurchlässige Elektrode direkt mit einem freigelegten zentralen Abschnitt der Drahtbondingelektrode kontaktiert werden, oder der freigelegte Abschnitt kann mit einem Material mit guten Bondingeigenschaften beschichtet werden. Deshalb können gute Bondingeigenschaften sichergestellt werden, selbst wenn die lichtdurchlässige Elektrode aus einem Material mit schlechten Bondingeigenschaften gebildet ist. Diese Anordnung macht es auch möglich, die Effekte eines Verhinderns eines Abschälens der lichtdurchlässigen Elektrode und einer Verringerung der Auswirkung einer Musterfehläusrichtung zu bewahren.

Die Vorrichtungselektrode umfaßt auch eine Anordnung, bei der die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt. Diese Anordnung steigert ferner die Effekte eines Verhinderns eines Abschälens der lichtdurchlässigen Elektrode, wodurch die Auswirkung einer Musterfehläusrichtung verringert und die Festigkeit der Anhaftung zwischen der Drahtbondingelektrode und dem Halbleiter verbessert wird.

Die Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Herstellung der Vorrichtungselektrode bereit, das umfaßt, daß Metalle verwendet werden, um die beiden Schichten der lichtdurchlässigen Elektrode zu bilden, und daß eine Wärmebehandlung in einer Sauerstoffatmosphäre umfaßt. Dies macht es leicht, das Metall der zweiten Schicht, welche die Oberflächenschicht ist, zu oxidiieren, um dadurch eine Lichtdurchlässigkeit zu verleihen. Auch wird ein Teil des Metallbestandteils der zweiten Schicht in die erste Schicht eindiffundiert, was die Oxidschicht auf der Oberfläche des Halbleiters zerstört. Das Vorsehen der Lichtdurchlässigkeit und des ohmschen Kontaktes zwischen der ersten Schicht und dem Halbleiter kann durch eine einzige Wärmebehandlung erreicht werden.

Bei dem zweischichtigen Aufbau, der in einer herkömmlichen lichtdurchlässigen Elektrode verwendet wird, muß eine Wärmebehandlung bei einer höheren Temperatur durchgeführt werden, um eine Wanderung nach oben zur Oberfläche der Elektrodenschicht und eine Diffusion über einen weiten Bereich zu bewirken. Infolgedessen ist es schwierig, die Diffusionsreaktion beständig zu steuern und eine beständige Qualität für die ohmschen Eigenschaften und die Lichtdurchlässigkeit zu erreichen, die für die lichtdurchlässige Elektrode erforderlich sind. Bei der vorliegenden Erfindung ist jedoch die Oberflächenschicht oxidiert, so daß nur ein geringer Grad an Diffusion erforderlich ist, was es möglich macht, die Diffusionsreaktion bei noch niedrigen Temperaturen zu steuern, und sie kann somit verwendet werden, um lichtdurchlässige Elektroden mit beständiger Qualität über einen noch weiteren Bereich von Wärmebe-

handlungstemperaturen zu erreichen.

Die vorliegende Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Herstellung der Vorrichtungselektrode bereit, das eine Wärmebehandlung von Legierungsschichten in einer Sauerstoffatmosphäre umfaßt, um eine lichtdurchlässige Elektrode zu bilden, die zwei Schichten aufweist. Dies kann vorgenommen werden, indem zuerst eine Legierungsmonoschicht gebildet wird, und kann deshalb mit einem einfachen Prozeß erreicht werden. Metall, das mit dem Sauerstoff in der Legierungsschicht stark reagiert, kann leicht oxidiert werden, um eine Lichtdurchlässigkeit zu verleihen, und ein Teil des Metalls kann verwendet werden, um Oxide zu zerstören, die an der Oberfläche des Halbleiters vorhanden sind. Das Vorsehen der Lichtdurchlässigkeit und des ohmschen Kontaktes mit dem Halbleiter kann mit einer einzigen Wärmebehandlung erreicht werden. Bei dem zweischichtigen Aufbau, der bei einer herkömmlichen lichtdurchlässigen Elektrode verwendet wurde, war es schwierig, beständige Qualitäten zu erreichen, die für eine lichtdurchlässige Elektrode erforderlich waren. Diese Erfindung kann mit nur einem geringen Grad an Diffusion durchgeführt werden, was es möglich macht, die Diffusionsreaktion bei noch niedrigeren Temperaturen zu steuern, und sie kann somit verwendet werden, um lichtdurchlässige Elektroden mit beständiger Qualität über einen noch weiteren Bereich von Wärmebehandlungs-temperaturen zu erreichen.

Zusammengefaßt enthält eine Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung eine lichtdurchlässige Elektrode, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und eine Drahtbondingelektrode, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode steht und derart gebildet ist, daß sie in teilweisen Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, wobei mindestens ein Bereich, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter aufweist als ein Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht. Diese Vorrichtungselektrode wird dadurch gebildet, daß eine Drahtbondingelektrode auf einem Abschnitt der Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet wird, daß auf der Oberfläche des Halbleiters eine erste Schicht gebildet wird, die aus mindestens einem Bestandteil besteht, der aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und die derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist, daß auf der ersten Schicht eine zweite Schicht gebildet wird, die aus mindestens einem Metall besteht, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht, und daß eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, indem die erste und die zweite Schicht in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre wärmebehandelt werden.

Patentansprüche

55

1. Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, umfassend: eine lichtdurchlässige Elektrode, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und eine Drahtbondingelektrode, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode steht und derart gebildet ist, daß sie in teilweisen Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, wobei mindestens ein Bereich, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, einen höheren Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit in bezug auf den Halbleiter aufweist als

ein Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht.

2. Elektrode nach Anspruch 1, wobei der Bereich der Drahtbondingelektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, mindestens einen Bestandteil umfaßt, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Ti, In, Mn, Ti, Al, Ag, Sn, AuBe, AuZn, AuMg, AlSi, TiSi und TiBe besteht.

3. Elektrode nach Anspruch 1, wobei der Bereich der Drahtbondingelektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, mindestens einen Bestandteil umfaßt, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Ti, Al und AuBe besteht.

4. Elektrode nach Anspruch 1, wobei der Bereich der lichtdurchlässigen Elektrode, der in Kontakt mit dem Halbleiter steht, ein Metall umfaßt, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pd, Pt, Ni und Cr besteht.

5. Elektrode nach Anspruch 1, wobei die Drahtbondingelektrode einen mehrschichtigen Aufbau aufweist, bei dem die oberste Schicht aus Al oder Au gebildet ist.

6. Elektrode nach Anspruch 1, wobei die lichtdurchlässige Elektrode umfaßt: eine erste Schicht, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und die mindestens einen Bestandteil umfaßt, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und eine zweite Schicht, die auf der ersten Schicht gebildet ist und ein lichtdurchlässiges Metalloxid umfaßt, das ein Oxid von mindestens einem Metall enthält, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht.

7. Elektrode nach Anspruch 6, wobei die erste Schicht aus Au besteht und die zweite Schicht aus einem Oxid von Ni besteht.

8. Elektrode nach Anspruch 6, wobei die zweite Schicht einen Sauerstoffanteil aufweist, der allmählich von der zweiten Schicht in Richtung der ersten Schicht in einem Bereich in der Nähe der Grenzfläche zwischen der zweiten Schicht und der ersten Schicht abnimmt.

9. Elektrode nach Anspruch 6, wobei die erste Schicht ein Metallelement enthält, das ein Hauptbestandteil des Metalloxids ist, das die zweite Schicht bildet.

10. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über einer oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist.

11. Elektrode nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über einer oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist.

12. Elektrode nach Anspruch 10, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt.

13. Elektrode nach Anspruch 11, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt.

14. Elektrode nach Anspruch 10, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie eine gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt.

15. Elektrode nach Anspruch 11, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie eine ge-

- samte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt.
16. Elektrode nach Anspruch 11, wobei die erste Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode an dem Abschnitt der zweiten Schicht freigelegt ist, der über der Drahtbondingelektrode liegt. 5
17. Elektrode nach Anspruch 16, wobei mindestens ein Teil des freigelegten Abschnitts der ersten Schicht mit Al oder Au beschichtet ist.
18. Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, umfassend: eine lichtdurchlässige Elektrode, die aus einer ersten Schicht aus Au besteht, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und die aus einer zweiten Schicht aus NiO besteht, die auf der ersten Schicht gebildet ist, und eine Drahtbondingelektrode, die derart gebildet ist, daß sie in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode und in teilweisem Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters steht, wobei die Drahtbondingelektrode, von der Halbleiterseite ausgehend, eine Beschichtung aus AuBe und Au umfaßt, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über einer oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist. 10
19. Elektrode nach Anspruch 18, wobei die erste Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode an dem Abschnitt der zweiten Schicht freigelegt ist, der über der Drahtbondingelektrode liegt. 30
20. Elektrode nach Anspruch 19, wobei der freigelegte Abschnitt der ersten Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode mit Au beschichtet ist.
21. Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, umfassend: eine lichtdurchlässige Elektrode, die aus einer ersten Schicht besteht, die aus mindestens einem Bestandteil zusammengesetzt ist, der aus einer Gruppe 35 ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und die aus einer zweiten Schicht besteht, die auf der ersten Schicht gebildet ist und ein lichtdurchlässiges Metalloxid umfaßt, das ein Oxid von mindestens einem Metall enthält, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu Mg und In besteht, und eine Drahtbondingelektrode, die derart gebildet ist, daß sie in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode und in teilweisem Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters steht. 40
22. Elektrode nach Anspruch 21, wobei die erste Schicht aus Au besteht und die zweite Schicht aus einem Oxid von Ni besteht. 55
23. Elektrode nach Anspruch 21, wobei die zweite Schicht einen Sauerstoffanteil aufweist, der allmählich von der zweiten Schicht in Richtung der ersten Schicht in einem Bereich in der Nähe einer Grenzfläche zwischen der zweiten Schicht und der ersten Schicht abnimmt. 60
24. Elektrode nach Anspruch 21, wobei die erste Schicht ein Metallelement enthält, das ein Hauptbestandteil des Metalloxids ist, das die zweite Schicht bildet. 65
25. Elektrode nach einem der Ansprüche 21 bis 24, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie an einem Abschnitt über einer oberen Ober-

- fläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist.
26. Elektrode nach Anspruch 25, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt.
27. Elektrode nach Anspruch 25, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie die gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt.
28. Elektrode nach Anspruch 25, wobei die erste Schicht der lichtdurchlässigen Elektrode an dem Abschnitt der zweiten Schicht freigelegt ist, der über der Drahtbondingelektrode liegt.
29. Elektrode nach Anspruch 28, wobei mindestens ein Teil des freigelegten Abschnitts der ersten Schicht mit Al oder Au beschichtet ist.
30. Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet ist, umfassend: eine lichtdurchlässige Elektrode, die derart gebildet ist, daß sie in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters gelangt, und eine Drahtbondingelektrode, die in elektrischem Kontakt mit der lichtdurchlässigen Elektrode steht und derart gebildet ist, daß eine untere Oberfläche in teilweisem Kontakt mit der Oberfläche des Halbleiters steht und die lichtdurchlässige Elektrode über der oberen Oberfläche liegt.
31. Elektrode nach Anspruch 30, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie über einem Umfang der oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt.
32. Elektrode nach Anspruch 30, wobei die lichtdurchlässige Elektrode derart gebildet ist, daß sie eine gesamte obere Oberfläche der Drahtbondingelektrode bedeckt.
33. Verfahren zur Herstellung einer Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet wird, umfassend: einen ersten Schritt, daß eine Drahtbondingelektrode an einem Abschnitt der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, einen zweiten Schritt, daß eine erste Schicht auf der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, wobei die erste Schicht mindestens einen Bestandteil umfaßt, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und derart gebildet wird, daß sie an einem Abschnitt über einer oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist, einen dritten Schritt, daß auf der ersten Schicht eine zweite Schicht gebildet wird, die mindestens ein Metall umfaßt, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht, und einen vierten Schritt, daß eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, indem die erste und die zweite Schicht in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre wärmebehandelt werden.
34. Verfahren zur Herstellung einer Elektrode nach Anspruch 33, wobei die Sauerstoff enthaltende Atmosphäre eine Sauerstoffkonzentration von nicht weniger als 1 ppm aufweist.
35. Verfahren zur Herstellung einer Elektrode für eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die auf einer Oberfläche eines p-leitenden Verbundhalbleiters auf GaN-Basis gebildet wird, umfassend: einen ersten Schritt, daß eine Drahtbondingelektrode an einem Abschnitt der Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, einen zweiten Schritt, daß eine Legierungsschicht auf der

DE 198 20 777 A 1

35

36

Oberfläche des Halbleiters gebildet wird, wobei die Legierungsschicht eine Legierung umfaßt, die mindestens ein Metall enthält, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Au, Pt und Pd besteht, und die mindestens ein Metall enthält, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Ni, Ti, Sn, Cr, Co, Zn, Cu, Mg und In besteht, und derart gebildet wird, daß sie an einem Abschnitt über einer oberen Oberfläche der Drahtbondingelektrode liegt, an dem die Drahtbondingelektrode angeordnet ist, und einen dritten Schritt, daß eine lichtdurchlässige Elektrode gebildet wird, indem die Legierungsschicht in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre wärmebehandelt wird, um auf der Halbleiterseite eine erste Schicht zu bilden, die aus Metall oder einer Legierung besteht, und eine zweite Schicht zu bilden, die aus einem lichtdurchlässigen Metalloxid besteht, das auf der ersten Schicht gebildet wird.

36. Verfahren zur Herstellung einer Elektrode nach Anspruch 35, wobei die Sauerstoff enthaltende Atmosphäre eine Sauerstoffkonzentration von nicht weniger als 1 ppm aufweist.

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

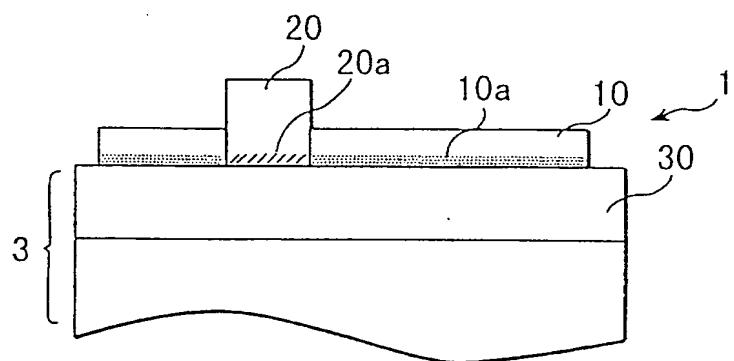


FIG. 2

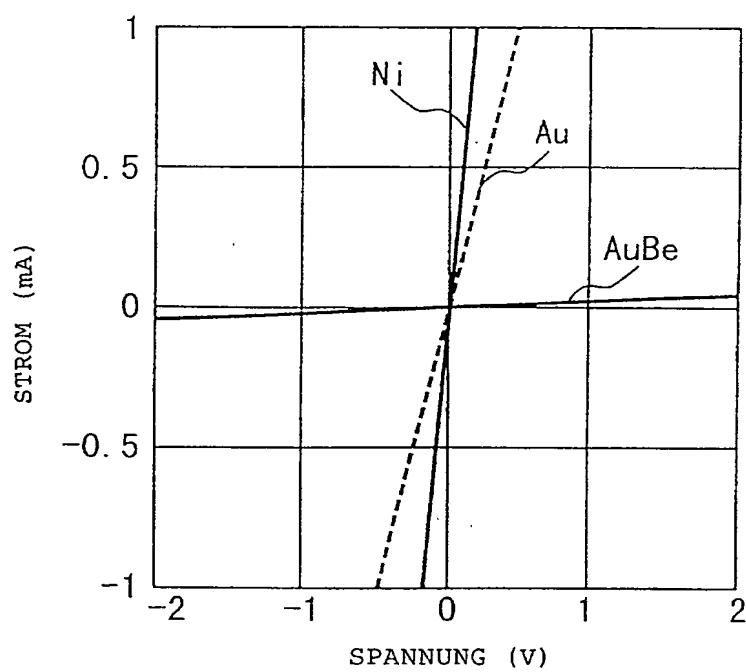


FIG. 3

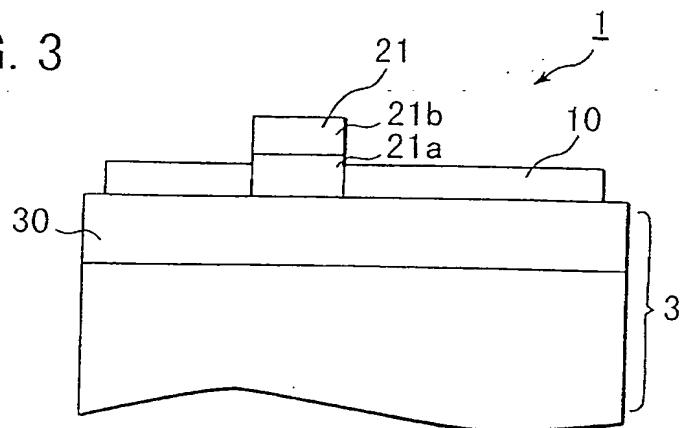


FIG. 4

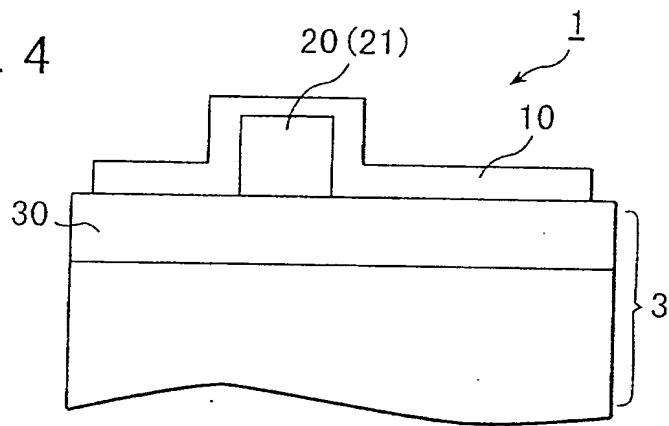


FIG. 5

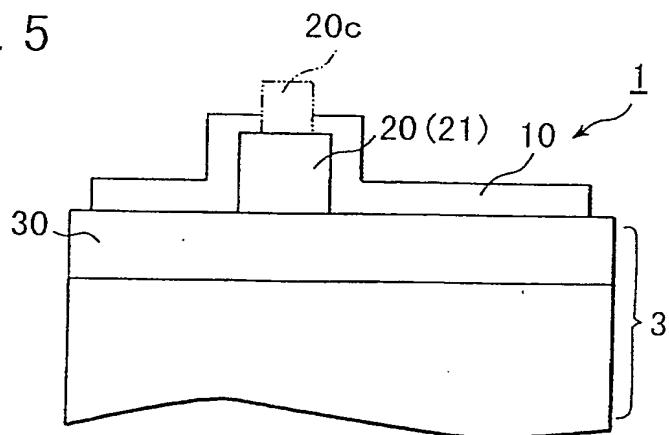


FIG. 6

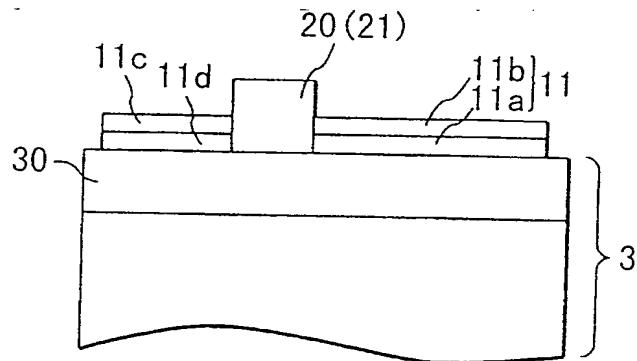


FIG. 7 (a)

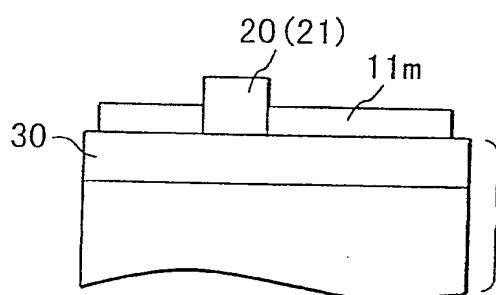


FIG. 7 (b)

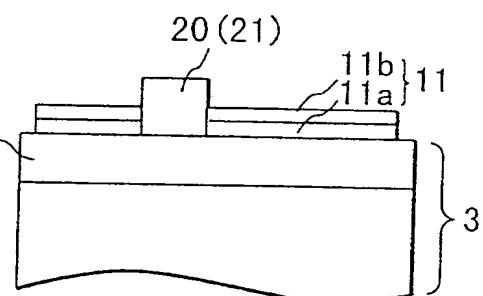


FIG. 8

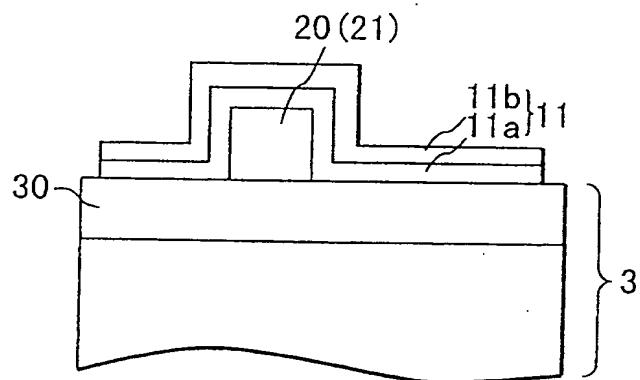


FIG. 9

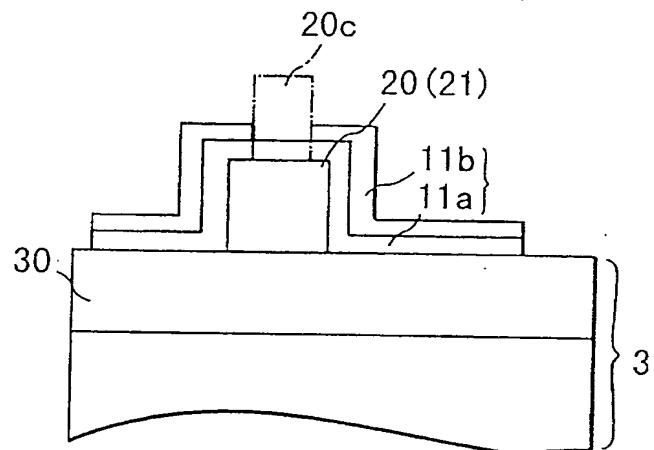


FIG. 10

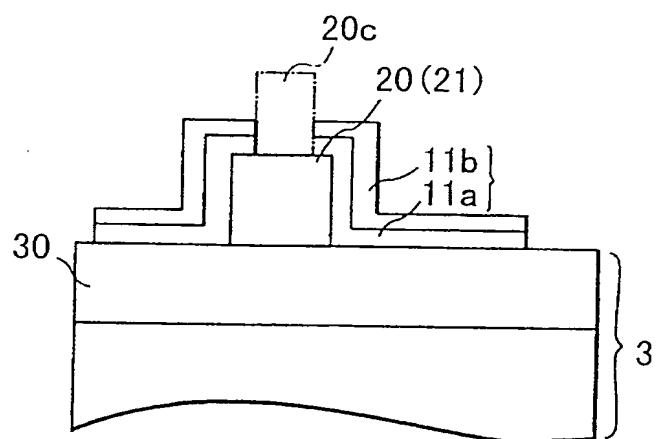


FIG. 11

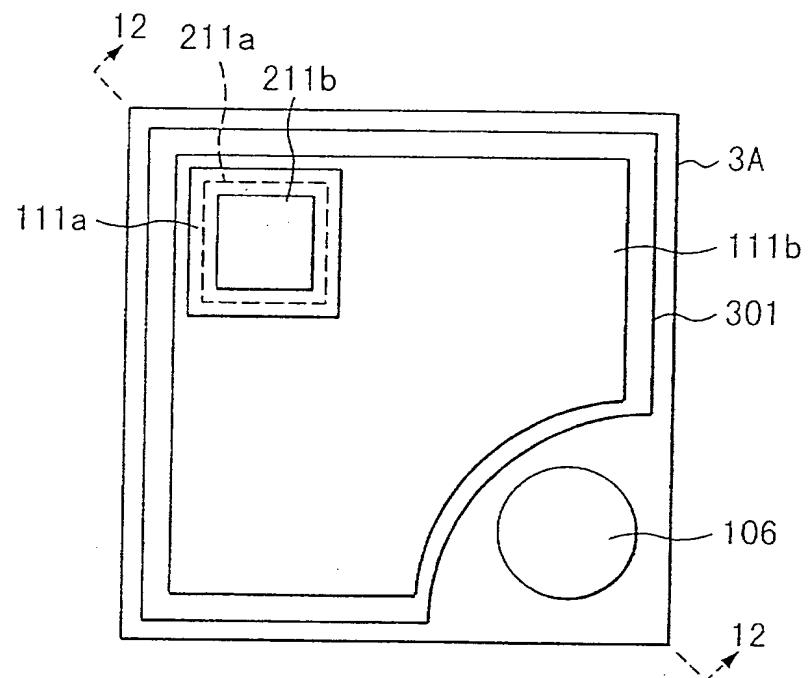


FIG. 12

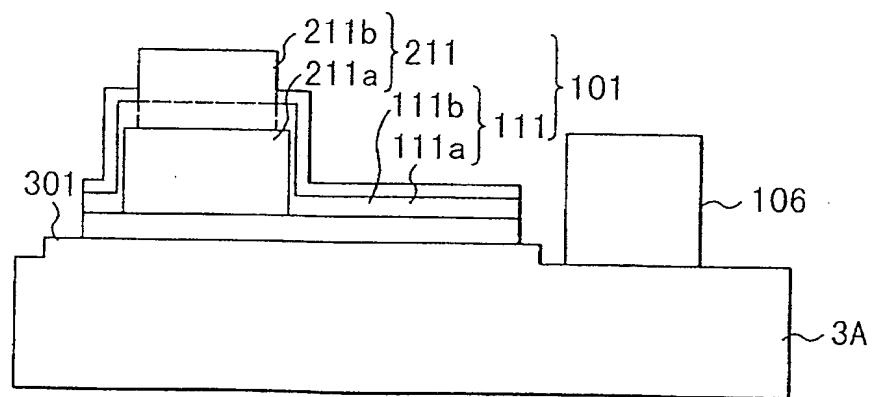


FIG. 13

GRADIENTENBEREICH DER
ZUSAMMENSETZUNG

p-LEITENDE GaN-SCHICHT

2. SCHICHT

1. SCHICHT

— 111b — R1 — 111a — 301 —

ELEMENTKONZENTRATION

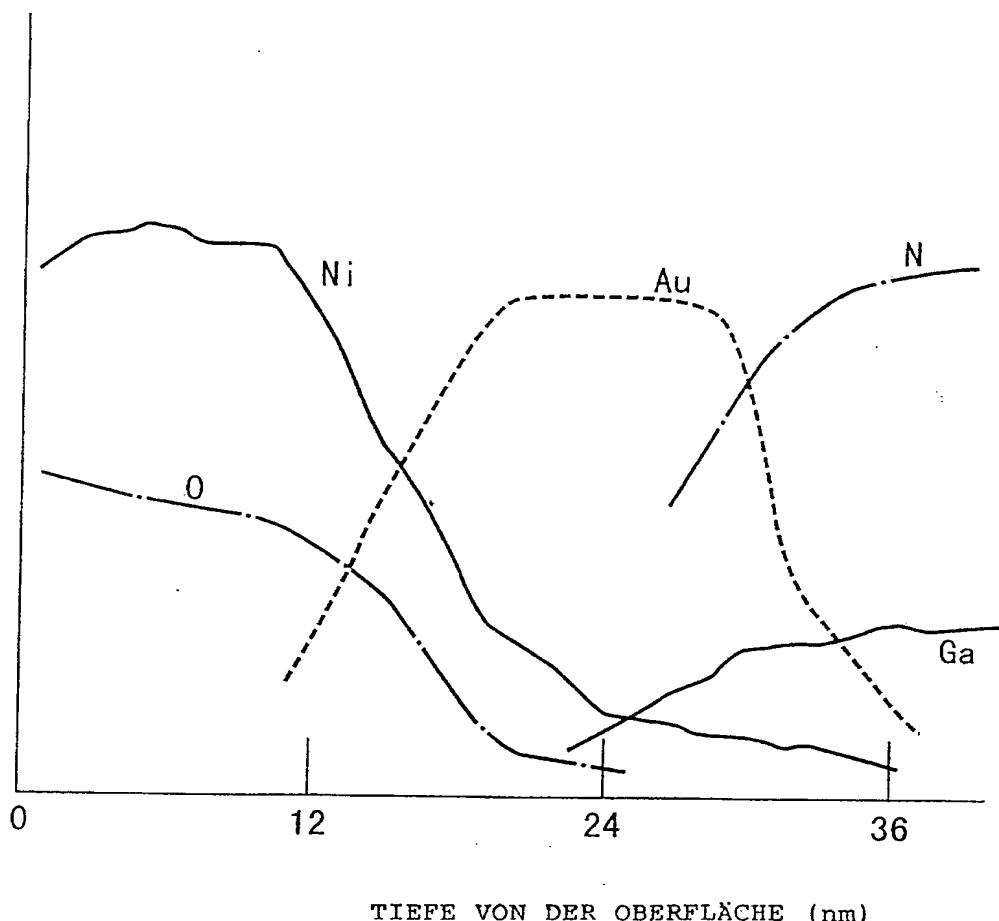


FIG. 14

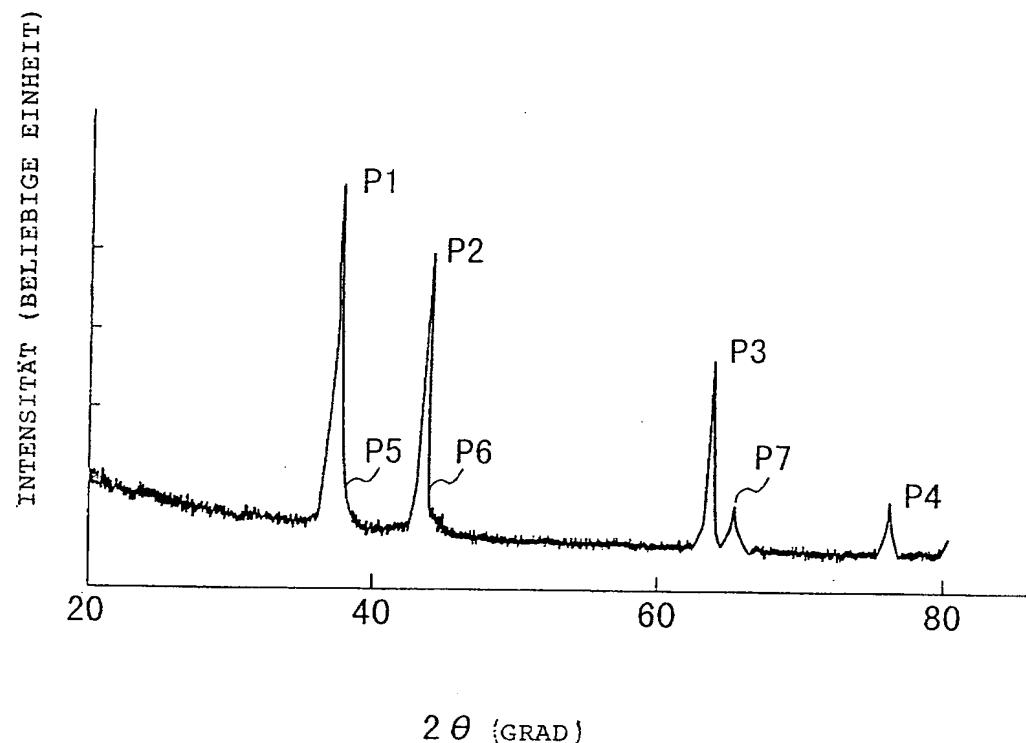


FIG. 15(a)

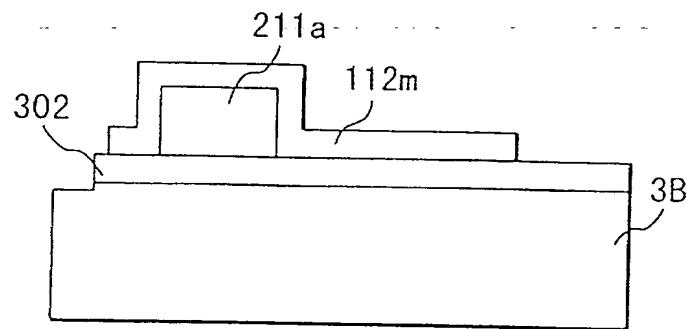


FIG. 15(b)

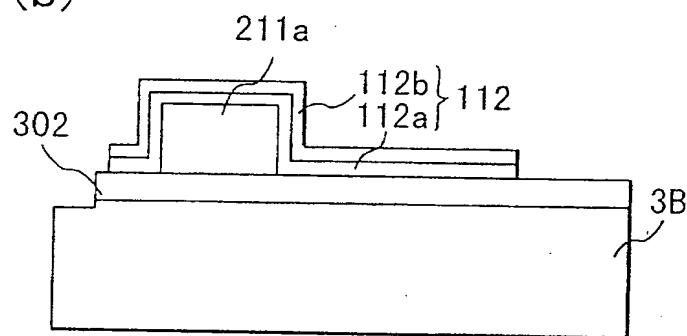


FIG. 15(c)

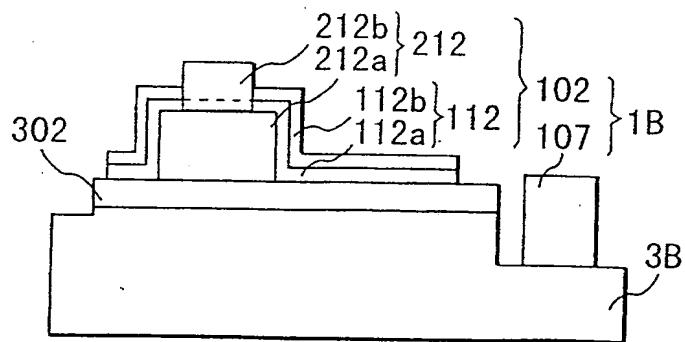


FIG. 16

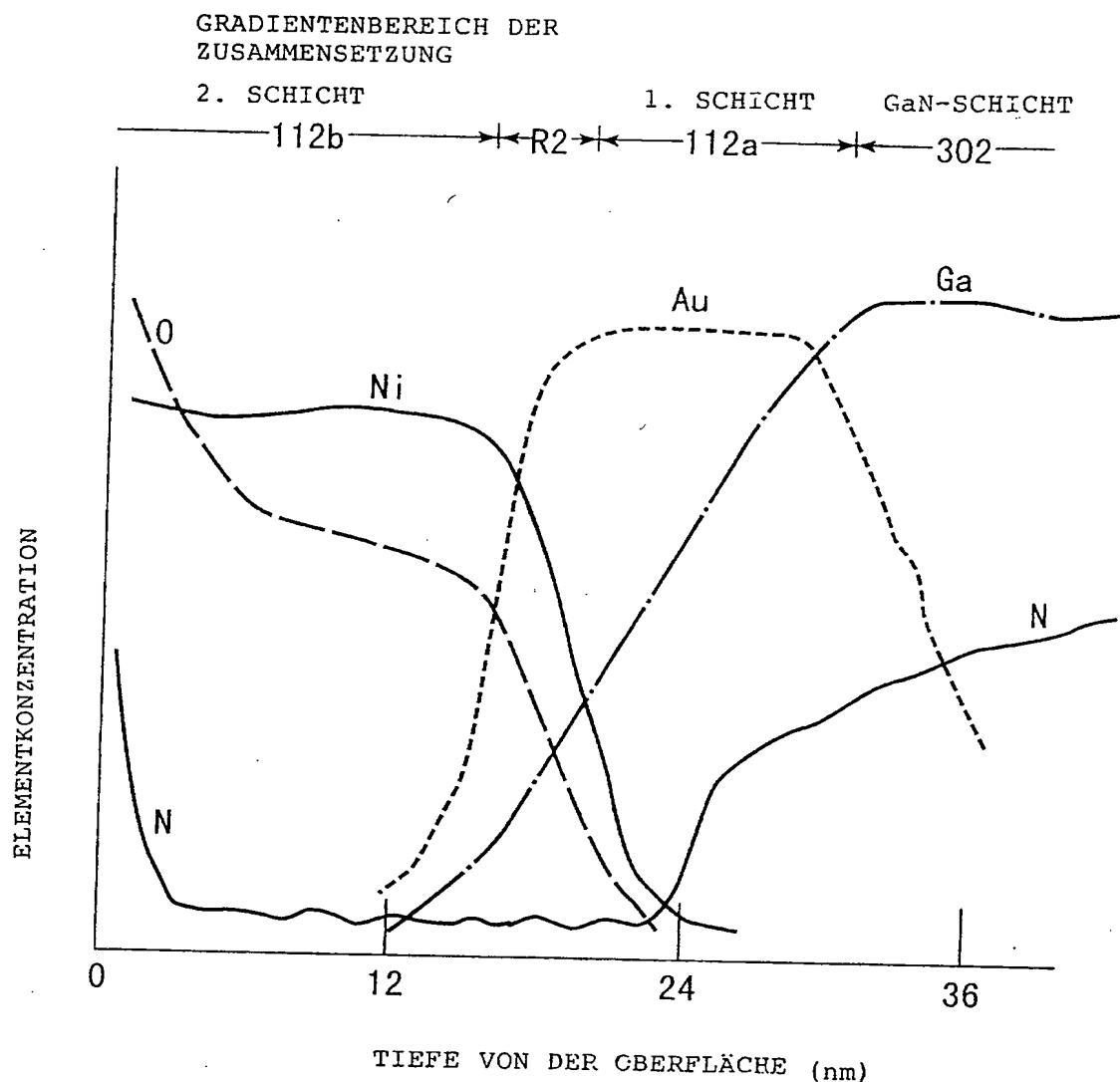


FIG. 17

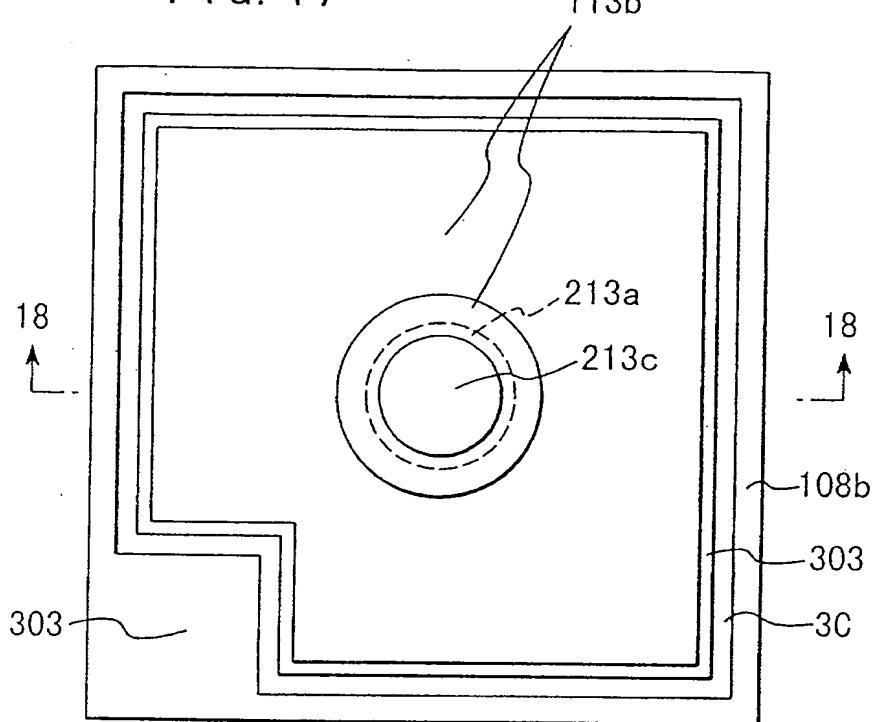


FIG. 18

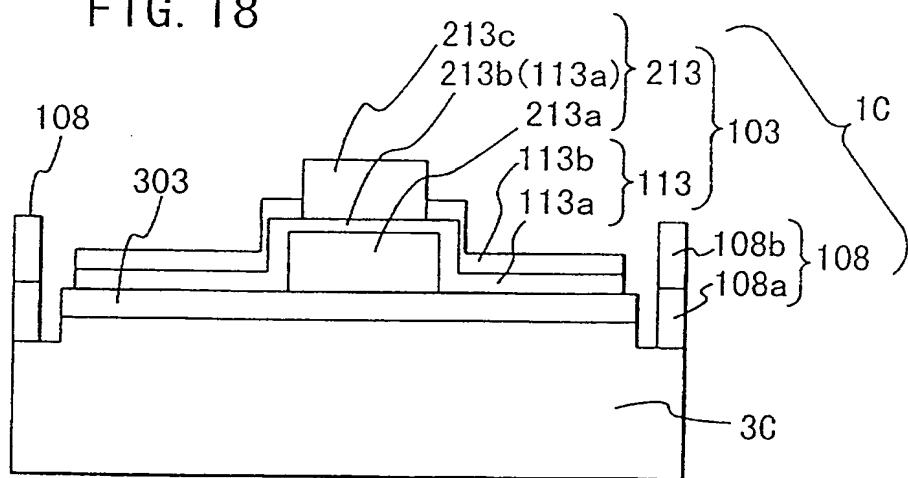


FIG. 19

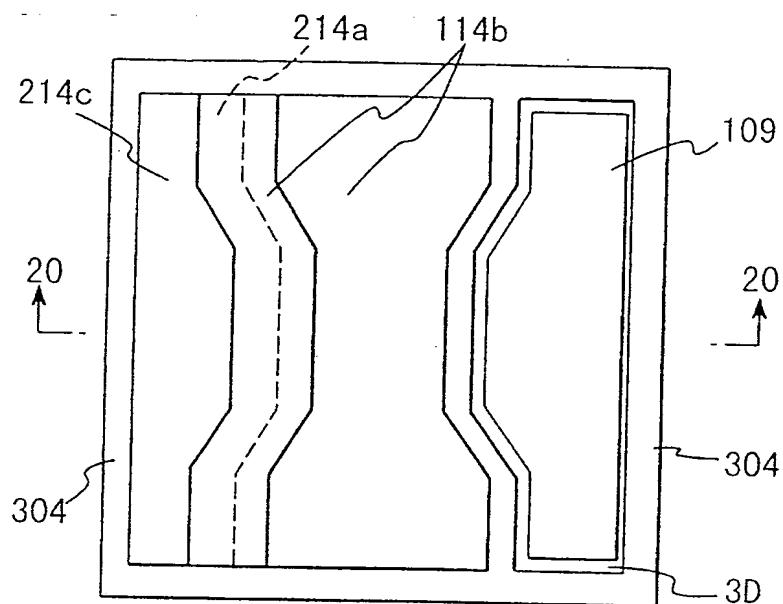


FIG. 20

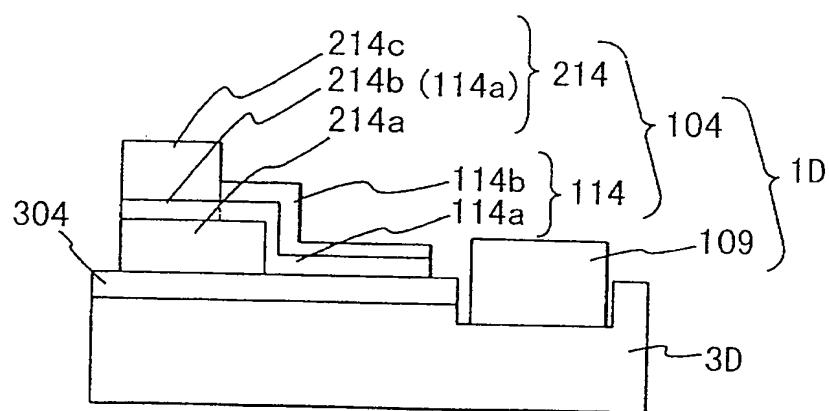


FIG. 21

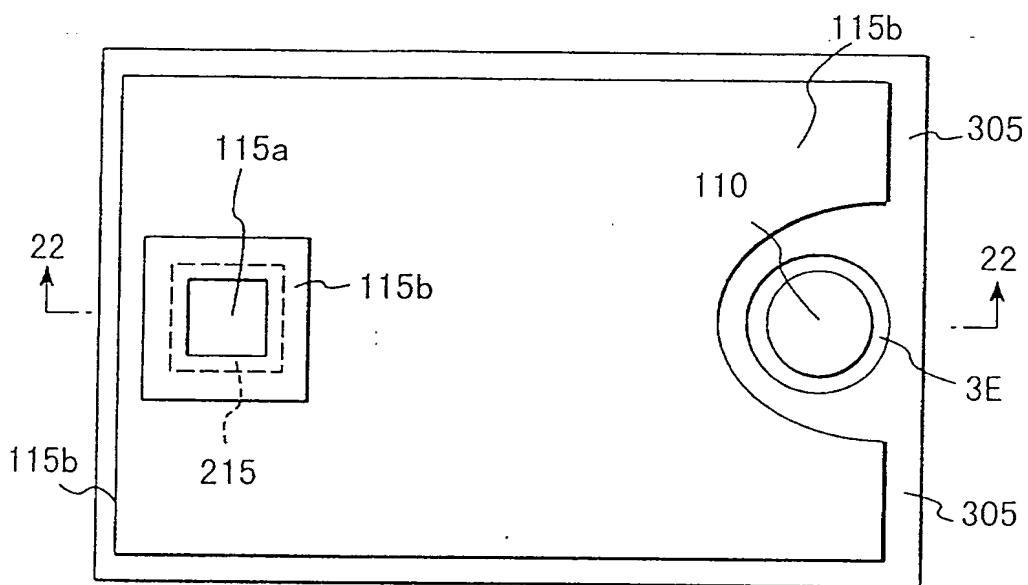


FIG. 22

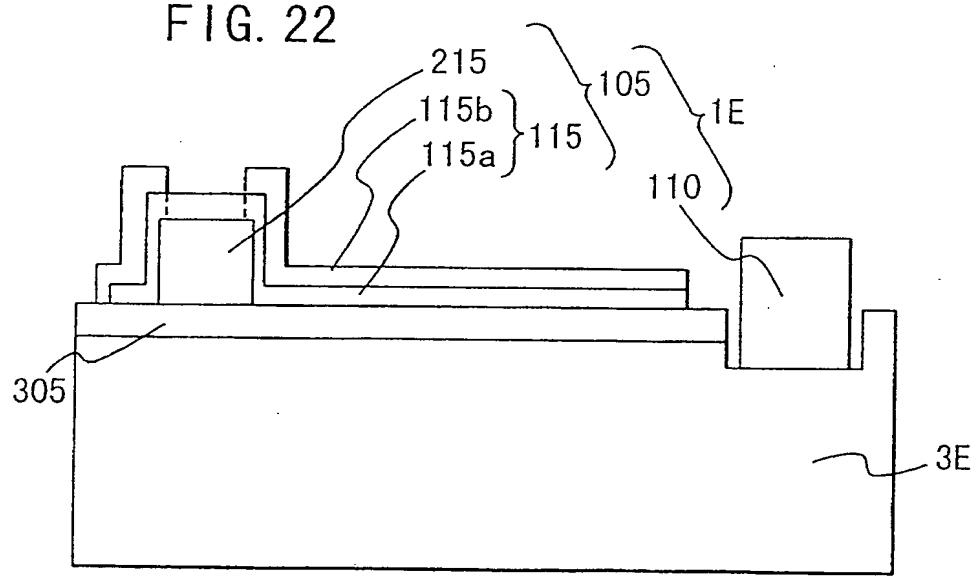


FIG. 23

STAND DER TECHNIK

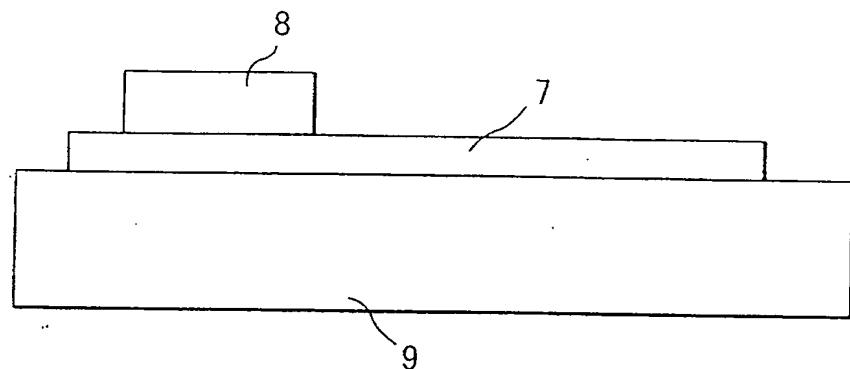


FIG. 24

STAND DER TECHNIK

